

Gute Nachrichten in dunkler Zeit

Am sechsten September bestand Lunwu Xu bei Professor Dr.-Ing. Walter Knissel und Professor Dr.-Ing. Klaus Kühn, Institut für Bergbau, erfolgreich seine Doktorprüfung. Während Dr.-Ing. Lunwu Xu die Glückwünsche der Gratulanten, den Lohn für vier Jahre intensiver wissenschaftlicher Arbeit, entgegennahm, genoß seine Tochter Keke den Augenblick auf ihre Art.

Mein persönliches (Clausthaler) Bild des Jahres; eine mögliche Moral von der Geschichte: „Steht die Familie hinter Dir, geht alles (fast) wie von selbst.“ Oder: „Vater und Tochter werden den Tag anders erinnern, es gibt so viele Realitäten wie Menschen.“

Nun arbeitet Dr.-Ing. Lunwu Xu als Projektingenieur bei der Graphit Kropfmühl AG in der Nähe von Passau. Die Kropfmühl AG hält Anteile an einer chinesischen Graphit-Mine. Nach seiner Einarbeitung in Deutschland wird Dr.-Ing. Xu die technische Optimierung der Mine leiten und das Projekt, pendelnd zwischen Deutschland und China, vorantreiben.



Die bestandene Doktorprüfung: Freude für Vater und Tochter.

Dr.-Ing. Mohammed Amro promovierte im Jahr 1994 bei Professor Dr. Dagobert Kessel im Institut für Erdöl- und Erdgastechnik. Im Juli kam er, seit einigen Jahren Assistant Professor an der König Saud Universität in Riad, zu einem zweimonatigen Gastaufenthalt an das Institut für Erdöl- und Erdgastechnik. „Saudi-Arabien ist sehr daran interessiert, ausländische Firmen als Investoren bei der Erschließung neuer Erdgasfelder für den Aufbau der Pipelines und Gasanlagen zu gewinnen“, berichtete Prof. Dr.-Ing. Amro. (S. 5)

Die Universitäten müssen heute um der Gefahrenabwehr willen den Staat bei der Rasterfahndung unterstützen und zugleich nach innen und außen ein weltoffenes Klima wahren. Muslime sind auch weiterhin an der TU Clausthal willkommen. In diesem Sinne veröffentlichte der Rektor, Professor Dr. Ernst Schaumann, eine Stellungnahme der Universität zu den Folgen des 11. September. (S. 12)

Die Universität gratuliert! Professor Dr. Wolfgang Schade, Institut für Physik und Physikalische Technologien, wurde für seinen faseroptischen Lasersensor, mit dem aromatische Kohlenwasserstoffe in Flüssigkeiten, Böden, Granulaten oder Erzen online und in-situ quantitativ nachgewiesen werden können, mit dem Technologietransferpreis 2001 der Industrie- und Handelskammer Braunschweig ausgezeichnet. (S.22)

„300.000 Kilometer in einer Woche“ legt eine Achse auf dem neuen Prüfstand im Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit bei Professor Dr.-Ing. Harald Zenner zurück. Die Anlage ist in Deutschland einzigartig. Die Betriebsfestigkeit ist einer der „Leuchttürme“ der Universität. (S. 6)

Einen Schwerpunkt in diesem Heft bilden die Werkstoffwissenschaften. So berichten wir über neue Materialien:

- in der Chipherstellung (S.11),
- für optische Anwendungen (S. 12),
- für die Lambda-Sonde im Katalysator (S. 14)
- über neue Wege zur Nanokristallinität aus einem massiven, grobkörnigen Material (S. 12),
- wie die Formbildung von TiC-Kristalliten vom Glühprogramm abhängt (S. 13),
- über Schaumslaggen in der Stahl-Metallurgie (S. 38-40)
- über eine Materialarchitektur, die neue Werkstoffpaarungen und -eigenschaften ermöglicht (S. 15)
- über die gewachsene Ausstattung des Instituts für Polymerwerkstoffe und Kunststofftechnik (S. 16)
- und über Untersuchungen im Institut für Technische Chemie zur Kunststoffmodifizierung. (S.34)

Mit einem 225 kV Röntgentomographen und einem sieben MHz Kernspinresonanztomograph können im Clausthaler Gesteintomographielabor Untersuchungen zur Porosität und Porenströmungsprozessen in (erdöl- und erdgasführenden) Gesteinen durchgeführt werden.

Professor Dr. mont. Pusch und Dr.-Ing. Meyn stellen die Möglichkeiten vor und berichten über erste Ergebnisse. (S. 23)

Hinein „ins volle Menschenleben“ greift Dr. Matthias Schlicht, Studentenpfarrer der Evangelischen Studentengemeinschaft, mit seinem Vortrag zur „Ethik des Geldes“: Nicht alles im Leben sollte seinen Preis haben - Käuflichkeit als Lebensprinzip „Wenn du den Opa küßt, bekommst du eine Mark!“ ebnet psychologisch (in der frühkindlichen Erziehung) den Weg zur Prostitution. Selbstbedienungsmentalität der politischen Elite weckt Volkszorn (S. 7 - 9).

Ich wünsche Lesegenuß und grüße Sie herzlich!
Ihr,

Jochen Brinkmann



Vorbereitung einer Schmelze zum vertikalen Stranggießen von Speziallegierungen für die Anwendung in Gleitlagern. Arbeitsgruppe Gießertechnik im Institut für Metallurgie, Versuchsanlage im Bereich Tannenhöhe.

Foto: Matthias Bein, Wernigerode

RUBRIKEN

Editorial	3
Campus	5
Forschung	10
Personalia	57
Erinnerungen	30
Habilitationen und Promotionen	63

IMPRESSUM

Herausgeber:
Der Rektor der Technischen Universität Clausthal, Prof. Dr. Ernst Schaumann (Adolph-Roemer-Str. 2A), und der Vorsitz der Vereins von Freunden der Technischen Universität Clausthal, Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Schulz (Osteröder Straße 8), beide in 38678 Clausthal-Zellerfeld.

Verlag
Media Consult Verlags GmbH
Bergstraße 60a, 38640 Goslar
Telefon (053 21) 4 15 02
Telefax (053 21) 4 15 03

Anzeigen
Media Consult Verlags GmbH
Am Sand 1c, 01665 Nieschütz
Telefon (035 25) 71 86 22 Fr. Sperling
Telefon (035 25) 71 86 24 Fr. Gregory
Telefax (035 25) 71 86 10

Redaktion
Jochen Brinkmann, M.A.
G.-Rauschenbach-Straße 4
Telefon (053 23) 72 77 55
Telefax (053 23) 72 77 59
Dr.-Ing. Lothar Schmidt
(Betreuung der Forschungsautoren)
Graupenstraße 3
Telefon (053 23) 72 21 41
Telefax (053 23) 72 22 03
(beide in 38678 Clausthal-Zellerfeld)

TU Contact erscheint als Zeitschrift der TU Clausthal und des Vereins von Freunden der TU Clausthal. Bezugspreis (für Mitglieder im Beitrag enthalten): 6,00 DM zuzüglich Versandkosten.

NANOKETTE AUS TiC-KRISTALLITEN

Wird Titancarbid im Ultrahochvakuum geglüht, so wachsen auf der geätzten Oberfläche in regelmäßigem Abstand zueinander senkrecht stehende „Nadeln“.

Dr. rer.nat. Jens Günster, Institut für Nichtmetallische Werkstoffe der TU Clausthal, Dr. M. Baxendale, Department of Physics & Astronomy, Universität London, und Dr. S. Otani und Prof. R. Souda vom japanischen Forschungszentrum für anorganische Materialien, NIRIM, haben die Gründe für das Wachstum dieser Nanostrukturen untersucht.

Seite 13

MIGRATION UND HERKUNFT VON GASEN IN SALZSTÖCKEN MARINER BILDUNG

Mit 2, 1 Millionen Mark fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung das auf drei Jahre angelegte Forschungsvorhaben von Dr. Michael G. Siemann, Institut für Mineralogie und Mineralische Rohstoffe der Technischen Universität Clausthal, zum Thema der „Herkunft und Migration mineralgebundener Gase in marinen Evaporiten“. Das Forschungsvorhaben dient dem Ziel, das Instrumentarium für die Sicherheitsbewertung untertägiger Entsorgungseinrichtungen zu verbessern.

Seite 17

RECHERCHE IN BILDDATENBANKEN - BALD SO EINFACH WIE EINE VOLLTEXTSUCHE IN EINEM TEXTARCHIV?

Dr. Odej Kao arbeitet an einem Verfahren, mit welchem, ähnlich der Volltextsuche in einem Textarchiv, in einer Bilddatenbank unter vielen tausend Bildern gerade jenes herausgesucht werden soll, das ein bestimmtes Motiv, beispielsweise eine Person zeigt. Über seine Forschungsergebnisse trug Dr. Kao auf der Internationalen Konferenz über parallele und verteilte Datenverarbeitungstechniken und deren Anwendungen in Las Vegas (USA) vor.

Seite 13

SPITZENPLÄTZE IN INFORMATIK, MATHEMATIK UND PHYSIK FÜR DIE TU CLAUSTHAL

Ausgezeichnete Rangplätze in der Zufriedenheit der Studenten mit ihrer Hochschule konnte die Technische Universität Clausthal im Rahmen der Umfrage „Das Absolventenbarometer 2001“ erzielen. Die Umfrage wurde von „trendence“, einem Institut für Personalmarketing, bei mehr als 45 Hochschulen mit dem Ziel durchgeführt, die Karriereziele und Lebensprioritäten von

Studenten zu erfassen sowie die Zufriedenheit der Studenten mit ihrer Hochschule zu messen.

Seite 5

MÜLLKIPPE OSTSEE?

Wo verbleiben organische Schadstoffe in der Ostsee? Am Beispiel der Region nördlich von Rügen werden Prozesse vorgestellt, die die Einlagerung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Sedimente steuern.

S. 52

DIE EINDÄMMUNG DER DYNAMIK ILLEGALER DROGENMÄRKTE EINE ÖKONOMISCHE BETRACHTUNG

Das Verbot des Handels und Konsums von Rauschmitteln soll vorrangig dem (Selbst-) Schutz der Konsumenten vor dem Kontakt mit Drogen dienen. Eine einfache Prohibition erzeugt jedoch massive Anreize zum illegalen Handel mit Rauschgiften, die faktisch zu einer Ausdehnung des Drogenkonsums führen. Der Verfasser untersucht einen Lösungsvorschlag, der sowohl die Ausdehnungsdynamik des Schwarzmarktes vermeidet als auch das Selbstschutzbedürfnis der Bürger besser erfüllt.

S. 48

Spitzenplätze in Informatik, Mathematik und Physik

Ausgezeichnete Rangplätze in der Zufriedenheit der Studenten mit ihrer Hochschule konnte die Technische Universität Clausthal im Rahmen der Umfrage „Das Absolventenbarometer 2001“ erzielen. Die Umfrage wurde von „trendence“, einem Institut für Personalmarketing, bei mehr als 45 Hochschulen mit dem Ziel durchgeführt, die Karriereziele und Lebensprioritäten von Studenten zu erfassen sowie die Zufriedenheit der Studenten mit ihrer Hochschule zu messen.

Den ersten Platz konnte die TU Clausthal im Urteil ihrer Studenten jeweils bei der Betreuung durch die Dozenten/Professoren, bei der Kooperation der Hochschule mit der Wirtschaft, bei der Qualität der Beratung (Studentenberatung, Praxisberatung) sowie beim Service der Hochschule (Studentensekretariat, Prüfungsamt) erzielen. Einen fast ebenso hervorragenden zweiten bzw. dritten Platz nimmt die TU Clausthal bei der Qualität der Dozenten in der Lehrstoffvermittlung, bei der Qualität und Verfügbarkeit der EDV-Infrastruktur, bei Umfang und Qualität der studentischen Aktivitäten sowie der Internationalität der Ausbildung (z. B. Austauschprogramme) ein. Einen ansehnlichen fünften Rang erreichte sie im Hinblick auf Qualität und Aktualität der Bibliotheken. Einen Mittelplatz geben die Studenten

der TU beim Praxisbezug der Ausbildung, wobei die TU Clausthal mit der Note 4,6 selbst hier noch deutlich vor der Durchschnittsnote für alle Universitäten (5,27) liegt; zu diesem Punkt schneiden allgemein die Fachhochschulen im Urteil ihrer Studenten besser ab (Durchschnitt: 3,97). Mit 47,7% gab der größte Teil der befragten Clausthaller Studenten an, Informatik (Wirtschaftsinformatik, Allgemeine Informatik, Technische Informatik, Angewandte Informatik, Praktische Informatik, Informationstechnik) zu studieren, gefolgt von Physik (16,4 %) und Mathematik (Technomathematik, Wirtschaftsmathematik, Mathematik - 12,2%) . In diesem fachlichen Bereich setzt das Personalmarketinginstitut „trendence“ den Schwerpunkt seiner Umfrage. Gerade hier hat sich in jüngster Zeit ein Schwerpunkt der TU Clausthal bei der Nachfrage nach Studienplätzen herausgebildet. Als besonders erfreulich beurteilt es deswegen Kanzler Dr. Kickartz, daß die Arbeit der Wissenschaftler bei der Betreuung der Studenten aber auch die Leistungen der Verwaltung ein derart positives Echo finden. Dies ermutige dazu - so Kickartz - den Serviceeinrichtungen, wie sie mit dem Studienzentrum in Angriff genommen sind, noch größere Aufmerksamkeit zu widmen, wobei es auch gelte, die Sparmaßnahmen des Landes zu überwinden, die auch diesen Bereich nicht verschont hätten. ■

Ergänzungsstudiengang Wirtschaftswissenschaften

Zum Wintersemester 2001/2002 startet der viersemestrige Ergänzungsstudiengang „Wirtschaftswissenschaften“, angeboten für Absolventen eines wissenschaftlichen Hochschulstudiums mit Diplom oder Master in den Ingenieurwissenschaften, den Naturwissenschaften, der Mathematik oder der Informatik. Das Studium vermittelt im wesentlichen betriebswirtschaftliche Inhalte und soll die Absolventen auf Führungsaufgaben sowie interdisziplinäre Aufgaben an den Schnittstellen zwischen Technik oder Naturwissenschaft einerseits und Management andererseits vorbereiten. Je nach Abschluß des Erststudiums erhalten die Absolventen den zusätzlichen Abschluß eines Diplom-Wirtschaftsingenieurs, Diplom-Wirtschaftsphysikers etc. Der Studienbeginn wird zum Wintersemester empfohlen.

*Weitere Informationen:
TU Clausthal, Studentensekretariat
Adolph-Roemer-Straße 2A
Tel. 05323 72-2493,
Fax: 05323 72-3897*

Saudi-Arabien öffnet sich für ausländische Investoren und will Forschungsk Kooperationen verstärken

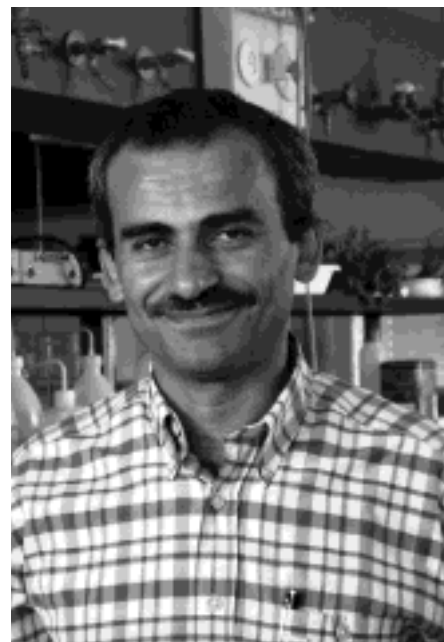
Assistant Professor Dr.-Ing. Mohammed Amro zu Gast an der TU Clausthal

„Saudi-Arabien ist sehr daran interessiert, ausländische Firmen als Investoren zu gewinnen. Bei der Erschließung der neuen Erdgasfelder in verschiedenen Gebieten des Landes eröffnen sich Möglichkeiten für Kooperationspartner zum Aufbau der Pipelines und Gasanlagen. Auch will man das Netzwerk der Forschungsk Kooperationen verstärken“, sagte Professor Dr.-Ing. Mohammed Amro, King Saud Universität, Riad, Saudi-Arabien in seinem Gastvortrag am 5. Juli im Institut für Erdöl- und Erdgastechnik der TU Clausthal.

Professor Dr.-Ing. Mohammed Amro studierte an der TU Clausthal Tiefbohrtechnik, Erdöl- Erdgasgewinnung und promovierte 1994 bei Professor Dr. Dagobert Kessel im Institut für Erdöl- und Erdgastechnik mit einer Arbeit über ein mikrobiologisches Verfahren zur Erhöhung der Ausbeute einer Erdöllagerstätte. Nach einer dreijährigen praktischen Tätigkeit als Erdölingenieur in Katar nahm Dr.-Ing. Amro einen Ruf als Assistant Professor an die

König-Saud-Universität in Riad in Saudi-Arabien an. Mit einem Stipendium des Deutschen Akademischen Auslandsdienstes war Professor Dr.-Ing. Amro in diesem Sommer am Institut für Erdöl- und Erdgastechnik bei Professor Dr. mont. Günter Pusch zu Gast. Saudi-Arabien verfügt mit 315 Milliarden Barrel über 26 Prozent der erwiesenen, sicheren Welterdölreserven. Das Land fördert 8 Millionen Barrel pro Tag. Eingesetzt werden modernste Bohrverfahren, wie Vertikalbohrungen für Erdgasfelder, abgelenkte und horizontal verlaufende Bohrungen, sowie multilaterale, Side-track- und sogenannte underbalancing Bohrungen für Erdölfelder. Saudi-Arabien besitzt mit dem Ghawar-Feld das größte Erdölfeld der Welt an Land. Es ist 270 km lang und besitzt eine durchschnittliche Breite von 25 km. Hier allein werden fünf Millionen Barrel pro Tag gefördert.

Das Institut für Erdöl- und Erdgastechnik der König Saud-Universität in Riad wurde 1974 als erstes Erdöl- und Erdgasinstitut der Region gegründet. Es bildet derzeit mit elf Professoren 180 Studenten aus und ist bestens ausgestattet.



„Das Institut für Erdöl- und Erdgastechnik der TU Clausthal, traditionell international ausgerichtet, freut sich in Professor Dr.-Ing. Amro einen weiteren potentiellen Partner für Kooperationen in Forschung und Lehre zu Gast zu haben“, sagt Professor Dr. mont. Günter Pusch, Institut für Erdöl- und Erdgastechnik der TU Clausthal.

Clausthaler Studenten als Entscheidungsträger eines Stahlwerkes

Komplexes Simulationsprogramm "HYBREX" wurde erfolgreich in der Lehre getestet

Die Clausthaler Metallurgiestudenten konnten sich im zurückliegenden Sommersemester in der Rolle eines Managers eines großen Walzwerkes erproben. Ein entscheidendes Hilfsmittel zur Auslegung der integrierten Walzstrasse, hieß „HYBREX“. Das Siemens-Simulationsprogramm wurde Professor Dr.-Ing. Heinz Palkowski vom Institut für Metallurgie der TU Clausthal in einer vorläufigen Version zur Erprobung kostenlos zur Verfügung gestellt. Da es in einem realen Praktikum nicht möglich ist alle Anlagenbestandteile und Walzgerüste auszutauschen oder zu modifizieren, lieferte HYBREX die Möglichkeit realitätsnah das Verhalten der Anlagen und des Werkstoffes bei entsprechenden Modifikationen sowie die Auswirkungen auf das Endprodukt zu simulieren

und zu beurteilen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Simulationen handelt es sich dabei um eine blockorientierte Anlagensimulation, die es ermöglicht, alle Komponenten einer Anlage nach eigenem Ermessen zusammenzustellen und zu testen, sowie die Auswirkungen hinsichtlich Qualität des Warmbands, Verschleiß in der Anlage, Anlagenbelastung sowie der Betriebs- und Investitionskosten „im Rechner“ als Simulation in Bits und Bytes gefahrlos zu ermitteln.

Dipl.-Ing. Lutz Wondraczek betreute das Praktikum und berichtet: „In einer Projektarbeit konnten die Studenten so mit einem hohen Grad an Zuverlässigkeit vorhersagen, wie sich die Erhöhung des Durchsatzes an Warmbreitband von 1,8 Millionen Jahrestonnen auf 2,2 Millionen Jahrestonnen hin-

sichtlich Produktqualität, Prozeßstabilität und Kosten auswirken wird und in welcher Art Modifikationen an der Walzanlage erforderlich sind. Für das Unternehmen war das Clausthaler Seminar ein hilfreiches zusätzliches Prognoseinstrument und die Clausthaler Studierenden ihrerseits konnten ein ingenieurmäßig praktisches „Gefühl“ für die komplexen Zusammenhänge einer Warmbandstraße eines Stahlwerkes, wie sie es sonst nur in vielen Jahren praktischer Tätigkeit als Ingenieur im Beruf erlangen werden, gewinnen.“

Industriell wird das Programm HYBREX angeboten, um den Planungszeitrahmen bei der Modernisierung oder dem kompletten Neubau einer Anlage drastisch zu verkürzen und so Kosten einzusparen. ■

„300.000 km in einer Woche“

Fahrmanöver wie Kurvenfahren, Bremsen, Beschleunigen und Schlechtweg belasten ein Auto. Verschleiß und Ermüdung können die Folge sein. Damit kein Versagen des Bauteils auftreten kann, muß die Betriebsfestigkeit bei Neuentwicklungen z. B. für eine geforderte Laufleistung von 300 000 Kilometern - die angenommene Lebensdauer eines Autos - überprüft werden. Spezielle Prüfstände sind „Straßensimulatoren“, mit denen Achsen oder auch ganze Fahrzeuge geprüft werden. Finanziert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) mit 1,25 Millionen Mark, erwarb das Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit der TU Clausthal (Prof. Dr.-Ing. Harald Zenner) einen neuen Achsprüfstand. Er ist an deutschen Universitäten einzigartig.

Wie kommt die „Straße ins Labor“? In sogenannten „Nachfahrversuchen“ werden die Belastungen auf das Fahrzeug auf dem Prüfstand experimentell simuliert. Die Belastungen entstehen während der Fahrt durch die im Radaufstandspunkt (Kontakt: Reifen - Fahrbahn) angreifenden Kräfte. Diese können in Fahrversuchen jedoch nicht direkt gemessen werden. Meßtechnisch zugänglich sind nur die Antwortsignale dieser Kräfte und Momente im Radmittelpunkt mittels spezieller Messräder. Die Radbelastungen sind die „Antwort“ des schwingungsfähigen Systems (Fahrzeug) auf die einwirkende Straße. Die Antwortsignale sind abhängig von der Abstimmung des Fahrwerks wie der Federrate, der Dämpfung und der Massenverteilung infolge Zuladung.

Die am Meßrad im Fahrversuch gemessenen Ant-

wortsignale werden im Prüflabor reproduziert. Möglich wird dies durch Kenntnis des Übertragungsverhaltens $\ddot{U}V$ des Schwingungssystems Prüfstand mit Fahrzeug, Bild 1. Das $\ddot{U}V$ beschreibt das Verhältnis von Antwortsignal (hier: Messrad-signal) zu Eingangssignal (hier: Prüfstandssteuer-signal) im Frequenzbereich. Die „Kunst“ besteht darin, die richtigen Steuersignale zu erzeugen. Das $\ddot{U}V$ kann durch geeignete Testsignale experimentell bestimmt werden (Systemidentifikation). Die Steuersignale ergeben sich aus $X = \ddot{U}V \cdot Y$. Mit ihnen wird der Prüfstand zur „Straße im Labor“. Durch eine Überhöhung der Belastung und eine geeignete Kürzung der Antwortsignale (Omission), wird die Belastungsgeschichte eines Kunden-Fahrzeugs von z. B. 300.000 km in ca. 1 Woche realisiert.

Die Vorteile der Laborerprobung gegenüber Fahrversuchen sind u. a.

- Unabhängigkeit von Witterungseinflüssen
- Unabhängigkeit von Fahrereinflüssen
- Gute Reproduzierbarkeit
- Einfache Überwachung und Geheimhaltung
- Zeitersparnis durch 24h-Betrieb

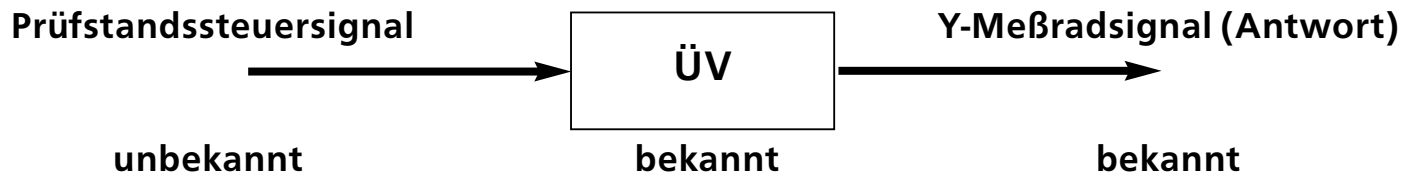


Bild 1: Inverse Systemanalyse

- Möglichkeit der Manipulation des Prüfprogramms
- Einsparung von Prototypen
- Bessere Inspektionsmöglichkeiten
- Keine Unfälle

Der Achsprüfstand ermöglicht die Simulation von 3 Kräften und einem Moment (Bremsen) pro Rad, also insgesamt 8 Kanäle. Jeder Kanal wird durch einen Hydraulikzylinder realisiert. Es können PKW-Hinter- oder Vorderachsen geprüft werden, Bild 2.

Während des Prüfzeitraumes kann sich das Übertragungsverhalten des Schwingungssystems Prüfstand - Fahrzeug verändern. Ziel eines aktuellen DFG-Forschungsvorhabens ist die Beurteilung des zeitvarianten Übertragungsverhaltens auf die Genauigkeit der Vorhersage der Lebensdauer von Bauteilen.

Weitere Informationen

Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit

Dipl.-Ing. Heiko Mauch

Tel. 05323 72 28 21

Fax. 05323 72 22 35 16

eMail: Heiko.Mauch@IMAB.TU-Clausthal.de

http://www.imab.tu-clausthal.de/Imab_Betriebsfestigkeit.htm

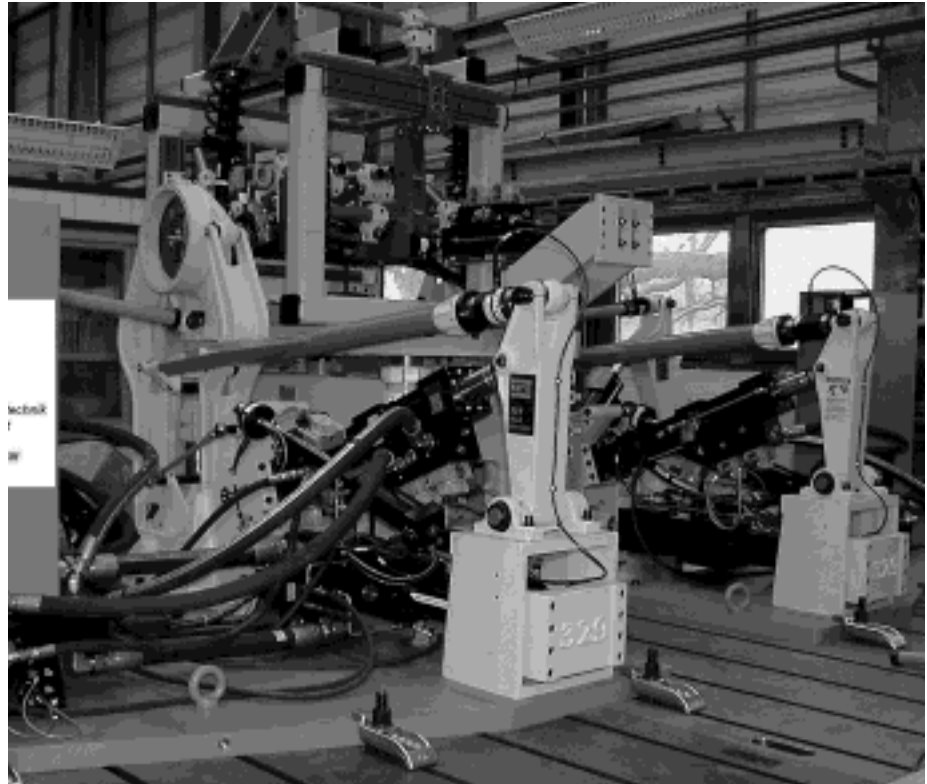


Bild 2: Achsprüfstand im IMAB TU Clausthal

Vortrag „Die Ethik des Geldes“

Contact-future, Clausthal

Dienstag, 30. Mai 2001

von Dr. Matthias Schlicht

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

einen Vortrag zum Themenkreis „Geld und Ethik“ zu halten, ist ein gewagtes Unterfangen, sagt doch der Volksmund: über Geld spricht man nicht (man hat es).

Gegen diesen volkstümlichen Rat nun doch von Geld zu sprechen, sogar noch in Vortragsform, erfordert zwei gewichtige Gründe: einmal die Einladung der Veranstalter von contact-future an mich, dieses zu tun, und zum anderen: das Thema liegt in der Luft. Nicht nur hier und heute, sondern allgemein und gesellschaftlich. Es scheint so, als drehe sich alles nur noch um Geld. Da ist die Auseinandersetzung um die Lohnpolitik, die Debatte um den Euro, die Staatsverschuldung, die Steuerpolitik; selbst im werten Fernsehen, immerhin ein Seismograph für gesellschaftliche

Interessen, flimmern fast täglich Einhunderttausend- bis eine Millionen-Mark-Shows ins Wohnzimmer. Für Geld macht man eben alles, oder? Damit sind wir mitten in unserem Thema: Geld und Ethik.

Was ist „Ethik“

Hinter jeder unserer Taten steckt ein - meist unbeußter - Plan, der uns sagt, wie wir uns verhalten wollen. Kinder bilden ihn in sich aus, gucken Verhaltensmuster von den Großen ab, probieren sie spielerisch aus und lernen über die Erfahrung. In der Pubertät werden dann mit Macht alle bisher von den Eltern und der Gesellschaft erfahrene Ethikmaßstäbe geprüft, indem an ihnen gerüttelt wird. Am Ende der Pubertät hat der Jugendliche seinen Ethik-Lebensentwurf neu gestaltet. Bis in's hohe Alter fragen wir uns nach den Wertmaßstäben, die uns wichtig sind.

Der Mensch als ethisches Wesen und das Geld

Die meisten von uns haben zu hause folgende zwei Bücher: ein Sparbuch und ... eine Bibel. Die Bibel ist das Buch, das das christliche Abendland inklusive unserer modernen Welt geprägt hat, wie kein anderes. Heute möchte ich die Bibel nicht als Glaubens- oder als Lehrbuch anführen, sondern als ein Zeitdokument. Schließlich berichtet uns das Alte Testament Geschichten aus der kulturellen Frühzeit des Menschen. Dort finden wir z.B. berichtet, wie sich allmählich gegenüber der reinen Naturalwirtschaft die Geldwirtschaft durchsetzte, die mit Zahlungsmitteln als Wertmesser von Gütern und Leistungen arbeitet. An keiner Stelle qualifiziert die Bibel „Geld“ an sich oder „Eigentum“ an sich als negativ. Der Erwerb von Eigentum, das man mit Geld messen kann, gehört zum Menschsein dazu. Eigentum, und damit auch das Geld, ist an sich weder gut noch schlecht. Jeder Mensch hat ein Recht darauf, durch seiner Hände Arbeit solches zu erwerben. Der Besitz steht sogar unter besonderem Schutz. Das siebte Gebot „Du sollst nicht stehlen“ sichert das Eigentum (inklusive des persönlichen Geldbesitzes) mit Hinweis auf die höchste Autorität, und zwar der göttlichen. Wie geht der Mensch mit dem Geld um? Welchen Stellenwert nimmt Geld in der Lebensführung ein?

Die Rolle des Geldes bei der Bestimmung des eigenen Selbstwertes

Im Kinderzimmer herrscht eines Tages große ►

Unruhe. Der fünfjährige Sebastian ist sauer. Mit einer Mark in der Hand steht er da und protestiert: „Die Lego-Kiste einräumen, die Playmo-Kiste einräumen, die Musikkassetten einräumen: und dafür nur eine Mark. Das ist gemein.“ „Wieso“, frage ich als geforderter Papa, „das war doch so abgemacht.“ „Aber Christopher hat zwei Mark bekommen.“ „Ja, aber dafür hat er doch den ganzen Nachmittag im Garten geholfen.“ „Trotzdem: gemein ist gemein.“

Ein zweites Beispiel:

Als Pastor mache ich einen Taufbesuch. Der kleine Täufling ist ca. 4 Wochen alt, sein großer Bruder ist schon 6. Jahre. Mitten im Gespräch klingelt es an der Tür. Überraschend kommt Opa zu Besuch. Opa fragt den Sechsjährigen: „Gibst du Opa denn heute gar keinen Kuß?“ „Nein“, sagte der Kleine etwas schüchtern in seiner Spielecke. Doch die Mama weiß eine Lösung: „Wenn du Opa einen Kuß gibst, dann bekommst du etwas für deinen Spartopf.“ Der Junge merkt auf, läßt sich derart überzeugen, und Opa kriegt den Kuß ... für Geld.

Ein drittes Beispiel:

1990 arbeitete ich für mehrere Wochen auf der Davidwache, St. Pauli-Süd. Ich lernte das Leben auf dem Kiez kennen, wo die „schnelle Mark“ oder auch die „schwere Mark“ gemacht wird. Viele Gespräche konnte ich mit Prostituierten führen. Eine erzählte mir folgendes. Ich zitiere aus dem Tonbandprotokoll:

„Als Verkäuferin schuftete ich im Supermarkt. Wenig Geld, massig Streß, und dann noch angegrabscht werden, ohne meckern zu dürfen. Da hab ich mir gesagt: dann mache ich gleich richtig Geld. Und als mein Freund mich fragte, hab ichs gemacht. Hauptsache das Geld stimmt. Das ist doch überall so. Ob der Körper nun hier oder im Supermarkt kaputt geht. Ist doch wahr.“

Drei verschiedene Beispiele für den Umgang mit Geld, und gleichzeitig drei verschiedene Beispiele für die Bestimmung des Selbstwertes mittels Geld. Das Beispiel Nr. 1 aus dem aufgeräumten Kinderzimmer zeigt deutlich: wenn es ums Geld geht, kennen kleine Kinder keine Relativierung. Bezahlung und Person sind für den Fünfjährigen so eng miteinander verknüpft, daß ein Hinweis auf das Leistungskriterium nichts ausrichten kann. Geldwerte Leistungen werden anfangs noch nicht verglichen. Das Geld kriegt die Person, das Individuum, nicht die Leistung.

Und wenn einer mehr als der andere bekommt, dann ist das eine Mißachtung und Geringschätzung der benachteiligten Person. Also muß es gleich verteilt sein, wie die Puddingportionen beim Nachtisch. Wenn die Menschen gleich sind, dann steht ihnen auch das gleiche zu. Alles andere ist ungerecht, zunächst. In der erwachsenen Welt gehören allerdings Geld und Leistungsprinzip untrennbar zusammen; nur so funktioniert die Marktwirtschaft, wenn alle Menschen - unter diesem Prinzip - in ihr mitwirken können.

Trotzdem bleibt die verhängnisvolle Verknüpfung von Geld und Selbstwert erhalten. Verhängnisvoll

ist sie deshalb, weil der Selbstwert in die immaterielle Dimension des „Seins“ gehört, das verdienbare Geld in die materielle Dimension des „Habens“. Und „Sein“ und „Haben“ sind nicht kompatibel. Ein Kind lernt es - wenn es gut geht - irgendwann: auch wenn verschiedene Leistungen verschieden bezahlt werden müssen, trotzdem bleibt jedes Kind für seine Eltern „gleich“ liebenswert, auch wenn es nur eine Mark und nicht zwei verdient hat.

Beispiel Nr. 2: der Besuch von Opa beim Taufgespräch. „Für Geld tut man alles“, das ist die Botschaft die die Mutter ihrem Sechsjährigen mitgegeben hat. „Für Geld tut man alles“, sogar den Opa küssen, wenn man das gar nicht will, und auf seinem Schoß sitzen, wenn man eigentlich lieber spielen möchte. Früh schon lockt das Geld, wenn man es derart als Lockmittel einsetzt. Deutlich wird: da Ethik sich im Kinderalter entwickelt, ist die Rolle der Eltern und die Zeit der Kindheit über alle Maßen zu bewerten. Nur Eltern können ihren Kindern Urvertrauen zu sich und zum Leben geben. In der klassischen Definition von Erik Erikson ist Urvertrauen, „eine auf Erfahrungen de(r) 1. Lebensjahre(.) zurückgehende Einstellung zu sich selbst und zur Welt... Mit „Vertrauen“ meint Erikson das, was man ... als ein Gefühl des Sich-Verlassen-Dürfens kennt, und zwar in bezug auf die Glaubwürdigkeit anderer wie die Zuverlässigkeit seiner selbst. Das Urvertrauen ist der Eckstein der gesunden Persönlichkeit.“ Geld spielt hier keine Rolle, denn die Ausbildung und Festigung eines Urvertrauens ist wiederum eine Kategorie des Seins und nicht des Habens.

Noch einmal sei es deshalb gesagt: Seins-Charakteristika mit Geld zu be- oder verrechnen, ist eine Vermischung der Kategorien. Was man ist, kann man nicht haben. Und nicht das Haben macht einen zu etwas, man ist schon etwas, einfach indem man da ist. Wir leben heutzutage in einer dominanten Haben-Gesellschaft. Gerade deshalb ist es nicht gutzuheißen, wenn schon Kinder lernen sollen, daß ALLES seinen Preis hat. Sie selbst haben keinen. Sie sind nicht zu kaufen. Und ihre Liebe auch nicht. Beispiel Nr. 3, das Gespräch mit der Frau, die auf dem Kiez arbeitet. „Hauptsache, daß Geld stimmt“, das ist eine Botschaft, die schon im vorigen Beispiel laut wurde. Hier finden wir die Einstellung wieder, in der krassesten Form, die man sich denken kann. Die Argumentationsstruktur der Frau hat dennoch eine gewisse Form von gesellschaftlich anerkannter Logik. „Wenn ich mich schon kaputt mache, dann dort, wo ich am meisten Geld bekomme.“

Ich sage ehrlich: mir fiel damals auf die Schnelle kein Einwurf ein, um ihre Argumentation auszuhebeln. Deutlich ist aber an diesem Beispiel zu sehen, wie verhängnisvoll die Verknüpfung von Geld und Selbstwert enden kann. Um dem zu wehren, haben wir wieder auf die „inneren“ Werte zu achten, die bereits bei der Kindererziehung eine Rolle spielen.

Zur zweiten Dimension:

Die Rolle des Geldes und der Umgang mit anderen
In der Konfirmandengruppe gehört Mike zur großen Jungenclique. Sie tragen die gleichen Base-

ballmützen, reden den gleichen Slang, und spielen gemeinsam „gegen die anderen“ Fußball oder MAGIC. Eines Tages ist alles anders. Mike gehört nicht mehr dazu. Hintenrum erfahre ich: Mikes Vater ist arbeitslos geworden. Daraufhin wird Mike zur Zielscheibe des Spottes. Er soll nicht mehr dazugehören und hat jetzt gefälligst eine andere Mütze zu tragen. „Dein Alter ist ja Aso! (asozial). Der kann bei uns ja das Auto waschen“ wird ihm zugerufen.

Ein zweites Beispiel:

Mittwoch ist Aldi-Tag. Seit Jahren zunehmend werden dort nicht mehr nur Lebensmittel, sondern auch Kleidung verkauft, neuerdings auch Computer, Fernseher und Stereoanlagen (aber das ist ein anderes Thema). In manchen Familien bricht am Mittwoch abend Streit aus. Kinder weigern sich, die günstigen Schuhe oder Jogginganzüge oder Regenjacken anzuziehen. „Das wissen doch alle, daß das von Aldi ist“, sagen sie, und riskieren den Kleidungsaufstand. Genau wie beim Selbstwertgefühl ist auch der Umgang mit anderen vom Kriterium des Geldes abhängig. Und wiederum spielt das Elternhaus eine große Rolle, wie die sich ausbildende Theorie der Lebensführung das Geld als Kriterium einbaut. Die hänselnden Kinder im ersten Beispiel, die von ihrem alten Freund Mike jetzt nichts mehr wissen wollen, haben diese Einstellung nicht selbst erfunden. Sie haben sie bereits vorher in der Erziehung keimhaft vorgefunden, aufgenommen, und jetzt probieren sie sie aus.

Und die Einstellung scheint gut zu sein. Mike reagiert wie geplant. Die anderen Jungs aus der Clique haben Macht über Mike, sie, deren Väter Arbeit und Geldverdienst haben, können auf den anderen - ohne Arbeit und ohne Geldverdienst - herabblicken. Welche Sprüche haben die Jungs wohl zu hause gehört, damit sie sich Mike gegenüber derart verhalten? Vielleicht: „Wer arbeitslos ist, ist selbst schuld?“ oder „Die Arbeitslosen liegen uns auf der Tasche?“ oder „Die sollen doch zum Autowaschen herangezogen werden?“ Die sich verweigernden Kinder aus dem zweiten Beispiel haben ebenfalls ihre Erfahrungen gemacht. Tatsächlich werden - schon in der Grundschule - Markenschuhe und Markenjeans als Statussymbole wahrgenommen und die darin steckende Person bewertet. Und ein Kind in einer Aldi-Jacke ..., tja, ob man so eins zum Spielen mit nach hause nehmen kann? Wieder frage ich mich, welche Sprüche Kinder zu hause aufgeschnappt haben, um eine derartige Einstellung in ihrem frühen Lebenstheorieentwurf auszuprobieren? Bei allem Einfluß von Medien und Werbung und Zeitgeist bleibt m.E. die Prägung durch das Elternhaus auch hier die Hauptursache. Und wenn hier die Denk- und Handlungsstruktur des Habens bzw. des Haben-Wollens vorherrschaft, prägt das entscheidend die Entwicklung. Sie fließt ein in die gesellschaftliche Stimmung und so erst wird ein Zeitgeist daraus.

Zur letzten Dimension:

Die Rolle des Geldes für das Zusammenleben in der Gesellschaft Seit 1997 lebe und arbeite ich in ►

nun schon Clausthal bei der Evangelischen Studentengemeinde, gleich neben - und seit 1998 auch in - der Technischen Universität.

Täglich habe ich Umgang, Kontakt, Gespräche mit Professoren und Dozenten, Studierenden: ob Erstsemester, Vordiplom oder Promovend. Kurz: ein akademisches Klima herrscht vor im Oberharz. Man trifft sich schnell mal zum Kaffee, liest die Frankfurter Allgemeine oder die Süddeutsche. Der universitär geprägte Clausthaler „way of live“ ist etwas gehoben, und auch bei Streitigkeiten geht man noch nett miteinander um. Doch diese Art zu leben, ist nicht die einzig mögliche. Das vergißt man oft, wenn man nur in akademischen Kreisen wirkt. So habe ich mich wirklich gefreut, als mir durch eine private Bekanntschaft eine ganz besondere Mitgliedschaft angetragen worden ist: die Mitgliedschaft in der „Goldenen Neun“, dem Clausthaler Kegelclub. Ich habe zugestimmt.

Jeden Donnerstag, wenn es die Zeit erlaubt, bin ich mit dabei. Dort kegelt kein Professor und kein Dozent. Dort wird keine Süddeutsche gelesen, sondern vornehmlich die Goslarsche, die WELT, aber eher doch die BILD. Handwerker, Angestellte, wenige Beamte und neuerdings ein Pastor bestimmen die Atmosphäre. Hier wird auch mal deutlich und in Klartext gestritten. Zum Beispiel über ein Herzstück jeder Gesellschaftsform: die Steuerpolitik. Die Mehrwertsteuer wurde 1998 um 1 % erhöht, bei zeitgleicher Anhebung der Abgeordnetendiäten (immerhin auch aus Steuermitteln). Die Stimmung in der „Goldenen Neun“ war explosiv. „Da sieht man es wieder, die da oben bedienen sich doch alle nur selbst.“ „Das Geld sprudelt bei denen doch nur so aus der Wand“. Und dann wurde über die Baupläne für das (damals noch Blümsche) Arbeitsministerium geredet, dessen Bauplan ja ausführlich in der BILD nachzuprüfen war. Die von mir geschilderte Stimmung im Oberharzer Kegelclub ist keine Anekdote, keine Privatstimmung. Sie ist paradigmatisch für den größten Teil der bundesrepublikanischen Gesellschaft. Es geht um Geld. Und um Ethik. Und da ist jeder kompetent. Jeder weiß, daß Steuern vernünftig sind, ohne Frage. Wo viele etwas abgeben, kann das Gemeinwesen Dinge erschaffen und erhalten, die ohne die Finanzmasse der Menschen nicht möglich wären. Infrastrukturmaßnahmen, Kranken- Schul- und Sozialwesen, Hilfe und Förderung von Schwachen in der Gesellschaft, nicht zuletzt Exekutive, Legislative und Jurisdiktion. Die Selbstverständlichkeit von Steuern macht einen Garant der Stabilität der modernen Gesellschaft aus. Diese Selbstverständlichkeit ist aber mehr und mehr am Verblässen. Aus der Vielzahl der Gründe möchte ich nur einen nennen, und zwar den unangenehmsten, den sogar der Kegelclub benennen kann. Es handelt sich um den problematischen Umgang einzelner oder vieler in der Öffentlichkeit stehender Personen oder Institutionen mit dem anvertrauten Steuergeld. Wo öffentliches, anvertrautes Steuergeld verschwendet oder für persönliche Zwecke eingesetzt wird: und das kommt dann raus, dann färbt so ein Verhalten nach unten ab. Bitte bedenken Sie: ich möchte hier keine Politikerschelte auf Stammtischniveau halten. ■

Dennoch gilt: eine Gesellschaft ist nur so gut, wie diejenigen, die diese Gesellschaft öffentlich vertreten, die Regeln dieser Gesellschaft auch selbst einhalten. Wenn dieses Vertrauen gebrochen ist, dann brechen die Dämme. Unredlichkeit ist ansteckend. Genauso wichtig wie Vertrauen in die Integrität von Politikern ist die Transparenz der Politik. Was wird mit dem Steuergeld eigentlich gemacht? Wer bestimmt das? Welcher Aufgaben nimmt sich ein Staat an, und welcher nicht? Jeder Wahlkampf müßte eigentlich der Offenlegung dieser Fragen dienen. Stattdessen erleben wir zur Zeit ein Musterbeispiel von schlechtem Beispiel. Noch einmal sei es gesagt: kein Mensch lebt für sich allein. Seit dem Neolithikum, also seit der Bildung größerer Lebensgemeinschaften, läßt sich die gesellschaftliche Arbeitsteilung aufzeigen, und damit verbunden auch die Abgabe von einzelnen für das Ganze, für das Gemeinwesen und Gemeinwohl. In demokratisch verfaßten Staaten ist das Prinzip der Gerechtigkeit auch bei der Steuer obligatorisch: wer wenig hat, zahlt wenig, wer viel hat, zahlt viel. So einfach ist das. Aus dieser einfachen Einsicht ist aber ein Wust von Frustration geworden. So kann es nicht weitergehen.

Meine sehr geehrten Damen und Herren,
über Geld redet man nicht. Ich habe es trotzdem getan. Die Rolle des Geldes ist enorm groß bei der Be-

stimmung des eigenen Wertes, im Umgang mit anderen sowie im Zusammenleben in der Gesellschaft. Den Umgang mit sich selbst und anderen regelt jeder mittels seiner - oft unbewußten - inneren Ethik. Jeder hat in sich seine Theorie für die Lebensführung. Und in dieser Theorie kommt Geld öfter vor, als man meinen sollte. Der Philosoph Erich Fromm hat die Menschen davor gewarnt, bei aller Selbstverständlichkeit des Geldes, die Lebensqualität des Seins in die Qualität des Habens transferieren zu wollen. Noch älter ist der Hinweis der Bergpredigt, nach der man nicht zwei Herren dienen kann. „Entweder man wird den einen hassen und den anderen lieben, oder man wird an dem einen hängen und den anderen verachten. Ihr könnt nicht Gott dienen und dem Mammon.“ Für die Tradition der Bibel ist „Geld“ an sich nicht negativ belastet. Nur wo es zum „Mammon“, zum „Gott“ wird, wo Menschen nur noch haben wollen, anstatt zu sein, wo Geld allein den Selbstwert bestimmt (schon bei Kindern), wo der Umgang mit anderen in geldwerten Kriterien berechnet wird, wo die Gesellschaft gute selbstverständliche Regeln des finanziellen Zusammenlegens für ein gerechtes, soziales Miteinander verkommen läßt, da wird Geld zum Mammon, da ist das alte Wort der Bibel hochaktuell. Die Ethik des einzelnen ist gefordert, sich damit auseinanderzusetzen. Dieses zu befördern sollte Ziel dieses Vortrags sein. ■

Anzeige



Seit 1829 Hand in Hand mit der Hochschule: Die Grosse'sche Buchhandlung (links)

Ihre Fachbuchhandlung für:

Technik · Naturwissenschaften · Bergbau · Umwelttechnik

GROSSE'SCHE BUCHHANDLUNG

ADOLPH-ROEMER-STRASSE 12 · TEL. (0 53 23) 9 39 00 · FAX (0 53 23) 93 90 20

<http://www.grosse.harz.de> · e-mail: buch@grosse.harz.de

D-38668 CLAUSTHAL-ZELLERFELD

Blei- und Silbergewinnung im Harz in der Ausstellung „Otto der Große“

Die „Schatzkammer des Kaisers“

Am Sonntag, den 26. August wurde mit einer Festveranstaltung im Magdeburger Dom die Ausstellung des Europarates „Otto der Große“ (27. August - 2. Dezember) in Anwesenheit des Schirmherrn, des Bundespräsidenten, Dr. h.c. Johannes Rau, eröffnet.

Die Grabungs- und Untersuchungsergebnisse zur Buntmetallgewinnung vom 3. - 13. Jhdt. n. Chr. in der Harzregion stellen Dr. Lothar Klappauf vom Niedersächsischen Landesamt für Denkmalpflege, Hannover, Arbeitsstelle Montanarchäologie, Goslar, und Professor Dr. Wolfgang Brockner vom Institut für Anorganische und Analytische Chemie der TU Clausthal vor.

Die Lagerstätten des Harzes waren wahrscheinlich seit der Bronzezeit (ca. 3000 v. Chr. - 1000 v. Chr.) wichtige Rohstofflieferanten für die Gewinnung von Blei/Silber und Kupfer. Wie weit die Ausbeutung der außerdem im Harz vorhandenen verschiedenen Eisenerzlagerstätten zurückreicht, ist noch ungewiß. Ihre Bedeutung läßt sich anhand der archäologischen Befunde bisher nur erahnen.

Auf Grund verschiedener Prospektions- und Grabungsbefunde, stets kombiniert mit vielfältigen naturwissenschaftlichen Untersuchungen, können die Wissenschaftler heute zu den verschiedenen Prozessen der Buntmetallgewinnung in der ottonischen Zeit ein recht detailliertes Bild skizzieren. Es ist sogar möglich, die Wechselwirkungen zwischen Mensch und Natur in der vom Berg- und Hüttenwesen geprägten Landschaft Harz zu fassen, die als „Schatzkammer des Kaisers“ eine prägende Rolle in dieser Zeit spielte.

Die beiden wichtigsten Lagerstättentypen im Westharz - das Alte Lager im Rammelsberg und die Oberharzer Gangerzlagertstätten - unterscheiden sich in ihrer Entstehung ebenso wie in ihrem Mineralbestand. Das Rammelsbergerz entstand als sedimentäre Ablagerung am Meeresgrund und ist daher feinstverwachsen. Es enthält neben vielen anderen Mineralen vor allem Kupfer-, Zink- und Blei- Verbindungen. Silber ist nur in verhältnismäßig geringer Konzentration enthalten. Bis in das späte Mittelalter wurde Rammelsbergerz vor allem als Kupfererz geschätzt.

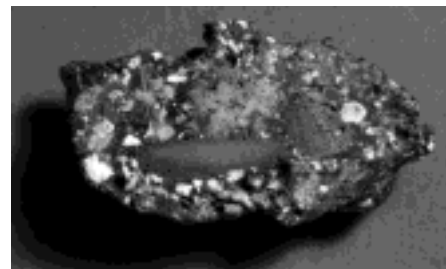
Das Erz der Oberharzer Gänge entstand dagegen hydrothermal aus Metallsalzlösungen bei höheren Temperaturen und Drucken in Gesteinsspalten und sieht daher auch ganz anders aus. Das so gebildete Erz ist derbkristallin und wichtigster Lieferant für Blei. Sein Silbergehalt ist gegenüber dem Rammelsbergerz 10- bis 100fach höher und erreicht Konzentrationen von 0,1% bis zu mehreren Prozenten. Während das feinverwachsene Rammelsbergerz nicht mechanisch aufbereitet werden kann, können Oberharzer Erze auf Unterlegsteinen zerschlagen und dabei Erze von Nebengesteinen getrennt werden. Von Hand wurden die für die Verhüttung geeigneten Stücke herausgeklaut.

Für die Gewinnung von Blei/Silber aus dem Oberharzer Erz reicht in der Regel als Brennmaterial

Holz aus, da für den angewendeten Röst-Reaktionsprozeß Temperaturen weit unter 1000°C genügen. In diesem Verhüttungsprozeß wird der natürliche, im Erz vorhandene Sulfidschwefel zusätzlich als „Brennstoff“ genutzt. Produkt des Schmelzprozesses in dem muldenförmigen Ofen ist das „Werkblei“, in dem sich das Silber konzentriert hat. Abfall ist die „Schlacke“, in diesem Fall ein zusammengebackenes Konglomerat der eingesetzten, thermisch veränderten Grund- und Begleitstoffe. Die oftmals noch metallhaltigen Abfälle, die „Schlacke“, lohnen die Wiederaufbereitung, „Grusschlacke“ konnte wieder in den Verhüttungsvorgang eingebracht werden. Das Werkblei gelangt in einfache Treibherde, in denen in besonders hergestellten Tiegeln bei etwa 800°C Luft(sauerstoff) auf die Schmelze geblasen wird. Dabei wird das Blei zu Bleiglätte oxidiert und das reine Silber verbleibt letztendlich (Blicksilber). Die Bleiglätte wird im zähflüssigen Zustand auf Holzstöckchen gewickelt. Die beiden Produkte dieses Treibprozesses standen nun zur Weiterverarbeitung zur Verfügung. Das entsilberte Blei kann wieder zur Entsilberung z.B. von Erzen eingesetzt werden, aber auch zur Herstellung von Gewichten, Blechen, Dachdeckung u.v.m. Auch die Bleiglätte kann mit Holzkohle leicht wieder in Blei überführt werden. Das Silber kann in den Münzstätten zum begehrten Zahlungsmittel geschlagen werden.

Für die Gewinnung von Kupfer aus dem komplexen Rammelsbergerz, das gerade in ottonischer Zeit zu weit über den Harz und das Vorland gestreuten Hüttenplätzen transportiert wurde, waren Temperaturen über 1200 °C notwendig. Diese konnten nur mit Holzkohle erreicht werden. In den recht kompliziert gebauten Schmelzöfen wurde gleichfalls der im Erz vorhandene sulfidische Schwefel als Energielieferant ausgenutzt. Abfall des Schmelzvorganges waren Schlacken, in der Kombination von Fließ- und Plattenschlacken ein typischer Indikator für diese zeitlich und räumlich eng auf das 10./11. Jahrhundert eingrenzbare Technologie. Produkt des Schmelzvorganges war Schwarzkupfer, ein angereichertes, immer noch kupfersulfidhaltiges Metall, das nach der Raffination in besonderen Herden als verarbeitbares Kupfer in den Handel und die Werkstätten gelangte. Durch Zulegierung vor allem von Zinn konnten dort die uns überlieferten Bronzen gegossen werden, durch das Verschmelzen im Tiegel mit Zinkoxid oder -carbonat, zu dem das „Goslarer Galmel“ den Rohstoff lieferte, stellte man Messing her. Fälschlicherweise werden die so hergestellten Gegenstände oft als Bronzen bezeichnet.

Diese Zusammenhänge wurden in einer über zehnjährigen Kooperation von Dr. Lothar Klappauf und der von Professor Dr. Wolfgang Brockner geleiteten Arbeitsgruppe „Archäometrie“ erarbeitet und werden nun in der Ausstellung „Otto der Große“ in einer Vitrine und einem Katalogbeitrag dargestellt. In dem umfangreichen Beiprogramm zur



Als Abfall bei der Verhüttung Oberharzer Gangerze auf Blei/Silber entstehen bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen (unter 1000 Grad) als Abfall „Sinterschlacken“, in denen noch deutlich die Gesteinsteile erkennbar sind



Bei der Trennung des Blei-Silbergemischs aus dem Verhüttungsvorgang wird im Treibprozeß das zähflüssige Blei auf Stöcke aufgewickelt und von der Schmelze abgezogen. Dieses Fundstück stammt von einem in das 10./11. Jh. datierten Schmelzplatz (Oberharz)

Ausstellung bieten Dr. Lothar Klappauf und Professor Dr. Wolfgang Brockner am 14. November 2001 um 15 Uhr einen Workshop zu dieser Thematik an.

Weitere Informationen:

Dr. Lothar Klappauf
Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege,
Arbeitsstelle Montanarchäologie,
Rammelsberger Straße 86
38640 Goslar
Tel. 05321-25246
Fax. 05321-24130
eMail: lajklappauf@compuserve.de
WWW:
<http://region.tu-clausthal.de/nldgs/Inhalt.htm>

Prof. Dr. Wolfgang Brockner
Institut für Anorganische und Analytische Chemie
Technische Universität Clausthal
Paul-Ernst-Straße 4
38678 Clausthal-Zellerfeld
Telefon: 05323-72-2656
Telefax: 05323-72-2995
eMail: Wolfgang.Brockner@tu-clausthal.de
WWW: <http://www.iaac.tu-clausthal.de/abtc/>

Neue Werkstoffe für die Miniaturisierung der Transistoren ab 2005

Europäisches Forscherkonsortium INVEST gegründet

Das hochgesteckte Ziel von INVEST* ist es, neue Materialien zu entwickeln, die von zentraler Bedeutung für den technologischen Fortschritt bei der Herstellung von Mikrochips sind. Dadurch sollen fundamentale technologische Schranken für die weitere Miniaturisierung von Halbleiterbauelementen und damit für das weitere Wachstum der Halbleiterindustrie beseitigt werden.

Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten sollen die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Halbleiterindustrie erhöhen und ihre starke Position im Bereich von integrierten Halbleiterbauelementen festigen. Am INVEST Konsortium sind unter anderem die Technische Universität Clausthal und das Max Planck Institut Halle beteiligt.

Ein Transistor kann mit einem einfachen Ventil oder Schalter verglichen werden, bei dem mit Hilfe einer angelegten Spannung der Strom ein- und ausgeschaltet werden kann. Dabei erzeugt die Spannung auf beiden Seiten einer isolierenden Schicht Ladungsträger, welche für das Fließen des Stromes benötigt werden. Durch die Miniaturisierung wird die Prozessgeschwindigkeit weiter erhöht und der Stromverbrauch herabgesetzt. Gleichzeitig können die Bauteile erheblich kostengünstiger hergestellt werden. Die Größe und die Leistungsmerkmale eines Transistors in einem Halbleiterbauelement hängen ganz wesentlich von der sehr dünnen elektrisch isolierenden Schicht im Transistor ab. Seit etwa drei Jahrzehnten werden diese Schichten aus Siliziumdioxid erzeugt und bilden damit die Grundlage von integrierten Schaltkreisen auf Siliziumbasis.

Im Zuge der Miniaturisierung von Transistoren muß auch die Isolierschicht (Gatteroxid) immer dünner werden. Ist die Schicht zu dick, wird keine ausreichende Anzahl von Ladungsträgern bereitgestellt und nach dem Einschalten des Transistors fließt kein ausreichend starker Strom.

Jedoch verliert die Schicht bei einer Dicke von nur wenigen Atomlagen ihre isolierenden Eigenschaften, so daß Leckströme wiederum ein präzises Schalten des Transistors verhindern. Die Probleme, welche mit dem herkömmlichen Werkstoff auftreten, können voraussichtlich mit neuen Materialien, die eine höhere Dielektrizitätskonstante aufweisen, gelöst werden. Sie erlauben die Verwendung dickerer Gatteroxide, und erzeugen dennoch genügend Ladungsträger beim Einschalten des Transistors. In einem dielektrischen Material baut sich durch den Einfluß eines elektrischen Feldes eine Ladung auf, aber es fließt kein Strom hindurch.

Im Mittelpunkt der Anstrengungen des Projekts INVEST steht daher die Einführung neuer Gatteroxide mit einer relativ hohen Dielektrizitätskonstanten „k“ (höher als 20). Solche Transistoren sollen trotz eines relativ dicken Gatteroxids (3-10nm) die Leistungsmerkmale von Bauelementen aufweisen, wie sie auf der Basis von Siliziumdioxid nur mit ultradünnen Schichten im Bereich von 2nm erzielt werden könnten. Die Fachwelt ist der einhelligen Meinung, daß damit die weitere Miniaturisierung von Transistoren von einer lateralen Ausdehnung von gegenwärtig 130nm in den Bereich von 50-100nm vorangetrieben werden kann.

Die ersten Resultate von Experten des INVEST Konsortiums sind vielversprechend. Um neue Materialien in einen hochentwickelten und hochoptimierten Herstellungsprozess zu integrieren, sind allerdings noch eine Vielzahl größerer Herausforderungen zu bewältigen.

Das INVEST Projekt wird sich mit den Materialeigenschaften auseinandersetzen, der Qualität der Grenzflächen zur Isolierschicht, den notwendigen Eigenschaften der Ausrüstung für die Herstellung, den Leistungsmerkmalen und der Lebensdauer der Transistoren, sowie der Integration und der Verträglichkeit mit der heutzutage dominierenden CMOS Herstellungstechnologie.

Um komplexe Metalloxide als Gatteroxide di-

rekt auf Silizium aufzuwachsen, setzt INVEST auf die Molekularstrahlepitaxie (MBE), mit der Materialien gewissermaßen Atom für Atom aufgebaut werden können. In dem Projekt ist darüber hinaus geplant, einen solchen Prozessschritt für neue Gatteroxide in die 8-inch Wafertechnologie einzuführen.

Traditionell wird MBE zur Herstellung von sogenannten III-V Halbleitern wie zum Beispiel Galliumarsenid eingesetzt. Das Team von INVEST hofft, MBE in die weitverbreiteten Herstellungsprozesse von Halbleiterbauelementen auf Siliziumbasis einzufügen. Nach dem Plan von INVEST sollen die geeigneten Materialien innerhalb von zwei Jahren identifiziert sein. Nach Ablauf des Projekts in drei Jahren hofft man, die wesentlichen Erfahrungen über die neuen Gatteroxide gesammelt zu haben, welche für die weitere Miniaturisierung nach 2005 notwendig sind. Es wird erwartet, daß die Resultate die Vorreiterrolle von Europa im Bereich MBE-Geräte für Metalloxide stärken und zu einer Kommerzialisierung von neuen Herstellungsgeräten für Oxidfilme führen.

Die TU Clausthal beteiligt sich mit Simulationen des Materialwachstums und dessen Eigenschaften am Projekt INVEST. In der Abteilung von Prof. Blöchl am Institut für Theoretische Physik werden deshalb die Bindungsverhältnisse und die Atomstruktur auf der Basis grundlegender Theorien berechnet.

Weitere Informationen:

Professor Dr. rer. nat. Peter E. Blöchl

Institut für Theoretische Physik

Technische Universität Clausthal

Leibnizstr. 10

38678 Clausthal Zellerfeld

TEL: +49-(5323)-72-2021

FAX: +49-(5323)-72-3116

Email: Peter.Bloechl@tu-clausthal.de

WWW: <http://www.pt.tu-clausthal.de/atp/>

* Die englische Abkürzung INVEST (Integration of very high-k dielectrics with silicon CMOS technology) steht für „Integration dielektrischer Materialien mit einer hohen Dielektrizitätskonstante in die Silizium CMOS-Technologie“. Das Projekt wird gefördert durch das fünfte Rahmenprogramm der Europäischen Kommission zur Informationsgesellschaft und wurde im Juli 2001 begonnen. Mitglieder des Forscherkonsortiums sind das IBM Forschungslabor Zürich, Schweiz, die Philips AG, vertreten mit ihrer Forschungseinrichtung in Leuven, Belgien, zwei Ultrahochvakuumkomponentenhersteller (RIBER S.A., Frankreich, und Oxford Applied Research Ltd., Großbritannien), ein unabhängiges Forschungszentrum, das sich auf die Entwicklung mikroelektronischer Prozesslinien spezialisiert hat (Interuniversitair Micro-Elektronica Centrum, Belgien), sowie vier akademischen Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der Material- und Ingenieurwissenschaften, das Nationale Forschungszentrum „Demokritos“, Griechenland, das Max-Planck Institut für Mikrostrukturphysik in Halle an der Saale, das Nationale Institut für Festkörperphysik, Italien, und das Institut für Theoretische Physik der Technischen Universität Clausthal.

Südkoreanische Wissenschaftler zu Gast am Institut für Werkstoffkunde und Werkstofftechnik

Nanokristalline Materialien aus massivem grobkörnigem Ausgangswerkstoff



(v.l.n.r.) Min-Hong Seo, Prof. J. Estrin, Dr.-Ing. R. Hellmig, Prof. Dr. Hyoung Seop Kim und Dr. Seung Chul Baik

Nanostrukturierte Materialien, definiert als polykristalline Werkstoffe mit einer typischen Korngröße unter einhundert Nanometer, haben in den letzten Jahren aufgrund ihrer überlegenen mechanischen, optischen, elektrischen und magnetischen Eigenschaften großes Interesse in der materialwissenschaftlichen Fachwelt gefunden. Mit drei südkoreanischen Wissenschaftlern, die auf diesem Gebiet forschen, arbeitet Professor Dr. Yuri Estrin, Institut für Werkstoffkunde und Werkstofftechnik, zusammen: Professor Ph.D. Hyoung Seop Kim, Universität Chungnam, gemeinsam mit seinem Doktoranden Min-Hong

Seo, und Dr. Seung Chul Baik vom Forschungslabor des koreanischen Stahlunternehmens Pohang. Alle drei arbeiten mit je unterschiedlichen Schwerpunkten auf dem Gebiet der Herstellung ultrafeinkörniger nanostrukturierter Werkstoffe aus einem massiven Werkstoff. Das grobkörnige Ausgangsmaterial wird in einem Kanal um neunzig Grad umgelenkt. Hierbei tritt aufgrund der hohen Scherspannung eine extreme plastische Verformung auf und die Kornstruktur wird ge-

feint. „Die Substruktur führt schließlich zu einer Nanostrukturierung. Die genauen Mechanismen sind noch nicht bekannt“, erklärt Professor Dr. Yuri Estrin.

Nanostrukturierte Materialien, die aus Nanopulvern auf dem Wege der Sinterung hergestellt werden, weisen Restporositäten auf, welche das gewünschte Eigenschaftsprofil, insbesondere die Festigkeit, negativ beeinflussen. Eine Nanostrukturierung, die aus einem massiven Werkstoff erfolgt, ist porenfrei. Nachteil der auf diesem Wege erzeugten Nanomaterialien ist eine im Vergleich zu den aus Nanopulvern hergestellten Werkstof-

fen schlechtere Umformbarkeit. Professor Dr. Hyoung Seop Kim führte gemeinsam mit seinem Doktoranden Ming Hong Seo Computersimulationen und Experimente zur extremen plastischen Verformung durch. Sie werden nun in Clausthal mit Dr.-Ing. Ralph Hellmig vom Institut für Werkstoffkunde und Werkstofftechnik fortgesetzt. Dr.-Ing. Hellmig hat die Herstellung ultrafeinkörniger Werkstoffe aus Kupfer erprobt, demnächst sollen Versuche an Magnesium folgen.

Dr. Seung Chul Baik ist mit einem Stipendium des Landes Niedersachsen für 18 Monate zu Gast an der TU Clausthal. Im Rahmen seines Aufenthaltes wird er auch für drei Monate ein Praktikum bei der Salzgitter AG absolvieren. So erhofft sich das Land Niedersachsen hochkarätige Wirtschaftskontakte anzustoßen. Dr. Seung Baik wird sich in seinem Forschungsvorhaben an der TU Clausthal insbesondere auch mit der Textur nanokristalliner Werkstoffe befassen.

Unter dem Begriff Textur versteht man eine Fernordnung der Kristalle in einem Werkstoff. Vom Prinzip her ähnelt die Textur einem Gewebe, das in einer Richtung leichter zerrissen werden kann als in eine andere. Die Werkstoffeigenschaften werden durch die spezifische Ausrichtung der Kristalle richtungsabhängig. ■

Erklärung des Rektors zur Fortsetzung der Internationalisierung an der Technischen Universität Clausthal

Die tragischen Ereignisse des 11. September 2001 in den USA haben auch an der TU Clausthal unter Lehrenden und Lernenden Entsetzen und Trauer ausgelöst. Mit besonderer Betroffenheit mußten wir dann zur Kenntnis nehmen, daß einige Terroristen ihre verbrecherischen Aktivitäten während eines Studiums an deutschen Hochschulen vorbereitet haben. Aufgrund der Struktur und der Rechtsstellung einer Universität im freiheitlich-demokratischen Rechtsstaat läßt sich ein solcher Mißbrauch der Institution und des Gastrechts nicht durch interne Maßnahmen verhindern, wenn auch die Achtsamkeit aller Hochschulangehörigen gefordert ist. In dieser Situation darauf zu drängen, die Internationalisierung der Universität abzubauen, wäre aber kontraproduktiv. Denn auch an der TU Clausthal erleben wir die ausländi-

schen Kommilitoninnen und Kommilitonen als bereichernd und unverzichtbar für unsere Hochschule. Mit besonderer Befriedigung stellen wir fest, daß auch die Bürgerinnen und Bürger der Bergstadt Clausthal-Zellerfeld unseren ausländischen Studierenden offen und gastfreundlich gegenüberstehen.

Entsprechend der Forderung im Leitbild der TU Clausthal von 1999 werden wir daher weiterhin unsere auslandsbezogenen Angebote in Lehre und Forschung erweitern und neue Formen eines international angelegten Studiums entwickeln. Wir laden daher auch in Zukunft junge Menschen aus allen Ländern dieser Welt zum Studium an der TU Clausthal ein. Dies schließt ausdrücklich auch Muslime ein, die während ihres Studiums die gesetzlich garantierten religiösen Freiheiten ge-

nießen. Von ihnen wie von allen anderen ausländischen Studierenden erwarten wir aber auch Interesse und Offenheit für die Kultur und das Wertesystem ihres Gastlandes Deutschland.

Rassistische Vorurteile und angeblich religiös begründete Denkverbote sind eklatant wissenschaftsfeindlich. Wissenschaft braucht den freien Austausch von Meinungen, Ergebnissen und Menschen über alle Ländergrenzen hinweg. Ausbildung und Bildung an einer Universität müssen daher international orientiert sein. Für die Zukunftsprobleme der Menschheit gibt es keine nationalen Lösungen.

Prof. Dr. E. Schaumann
Rektor der Technischen Universität Clausthal ■

Forschungsergebnisse wurden in den USA referiert

Recherche in Bilddatenbanken - bald so einfach wie eine Volltextsuche in einem Textarchiv?

Der Clausthaler Informatiker Dr. Odej Kao arbeitet an einem Verfahren, mit welchem, ähnlich der Volltextsuche in einem Textarchiv, in einer Bilddatenbank unter vielen tausend Bildern gerade jenes herausgesucht werden soll, das ein bestimmtes Motiv, beispielsweise eine Person zeigt. Über seine Forschungsergebnisse trug Dr. Kao am 26. Juni auf der internationalen Konferenz über parallele und verteilte Datenverarbeitungstechniken und deren Anwendungen in Las Vegas (USA) vor.

Gegenwärtig ist eine präzise Suche einzelner Bildelemente nicht möglich. Dr. Kao arbeitet daher am Design einer parallelen Bilddatenbank namens Cairo (Cluster Architecture for Image Retrieval and Organisation). Der Benut-

zer markiert einen Bildausschnitt, das System vergleicht den digitalisierten Wert dieses Bildausschnittes mit allen möglichen Ausschnitten der Bilder in der Datenbank und identifiziert ähnliche Objekte.

Eine solche Abfrage übersteigt die Leistungsfähigkeit traditioneller Datenbankarchitekturen erheblich. Hierfür müssen parallele Rechnerarchitekturen eingesetzt werden. Rechner-Cluster weisen nahezu lineare Beschleunigungswerte auf, eine Verdopplung der Rechneranzahl halbiert die zur Bearbeitung der Anfrage notwendige Rechenzeit.

Für die anfängliche Verteilung der Daten über die Knoten verwendet Dr. Kao eine inhaltsabhängige und eine größenbasierte Strategie für Datenpartitionierung. So können die Retrievaloperationen parallel auf allen Knoten

ausgeführt werden. Die Kombination statischer und dynamischer Merkmale innerhalb einer Anfrage stört jedoch die gleichmäßige Datenverteilung und führt zu unterschiedlichen Laufzeiten der einzelnen Knoten. Aus diesem Grund stellte Dr. Kao zwei heuristische Verfahren für einen Lastenausgleich vor und bewertete deren Effizienz anhand von Leistungsmessungen.

Weitere Informationen:

Dr. Odej Kao, Institut für Informatik

Julius-Albert-Straße 4,

38678 Clausthal-Zellerfeld

Tel.: (0)5323-72 7157,

Fax: +49(0)5323-72 7149

E-mail: okao@informatik.tu-clausthal.de

<http://www.in.tu-clausthal.de/~okao/>

Eine Nanokette aus TiC-Kristalliten - Formbildung abhängig vom Glühprogramm

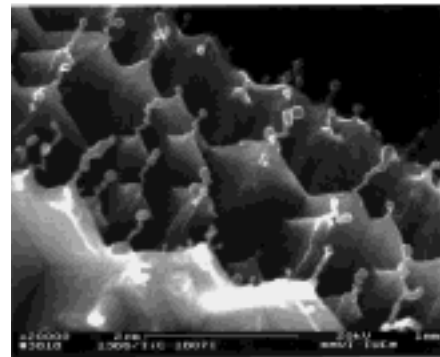
Wird Titancarbid im Ultrahochvakuum ge-
glüht, so wachsen auf der gezackten Oberfläche
in regelmäßigem Abstand zueinander senkrecht
stehende „Nadeln“. Dr. rer.nat. Jens Günster,
Institut für Nichtmetallische Werkstoffe der TU
Clausthal, Dr. M. Baxendale, Departement of
Physics & Astronomy, Universität London, und
Dr. S. Otani und Prof. R. Souda vom japanischen
Forschungszentrum für anorganische Materia-
lien, NIRIM, haben die Gründe für das Wachs-
tum dieser Nanostrukturen untersucht. In der
Oktoberausgabe der Zeitschrift *Surface Science*
Letters, Vol 494/1, pp L781-L786, legen sie ihre
Ergebnisse vor.

Die Nanostrukturen wachsen nach einem stufen-
artig gesteigerten Glühprogramm von 2400 K und
sodann 2500 K aus den Ecken der schräg gestellten
TiC-Kristalle auf der TiC (111) Oberfläche heraus.
Zunächst bildet sich bei Temperaturen von ca.
2200 K an der Oberfläche eine Graphithaut aus dem
sich zersetzenden Ausgangsmaterial. Diese Gra-
phithaut ist sehr temperaturbeständig und unter-
drückt eine weitere Zersetzung des TiC Kristalls.
Bei 2400 Kelvin bilden sich dann auf den Kanten der
TiC-Kristallite nanogroße Titantröpfchen. Die Gra-
phithaut kann sich an den Kanten nur fehlerhaft aus-
bilden. Durch die defekte Graphithaut gelangt Ti aus
dem sich zersetzenden Ausgangsmaterial an die

Oberfläche. Wie kommt es zu diesen Formen? Ein
zerschnittener Einkristall besitzt Restspannungen an
der Oberfläche. Existiert eine Oberfläche mit gerin-
gerer Restspannung und sind die Atome im nahen
Oberflächenbereich beweglich, so kann nach dem
Schneiden spontan eine zunächst glatte Oberfläche
aufrauen und in eine kantige Struktur umwandeln.
Auf diese Weise minimiert der Kristall seine Ober-
flächenenergie. Die Titan- und Kohlenstoffatome
stehen „in Reih und Glied“ schräg zur Oberfläche.
Die für die Umstrukturierung nötige Beweglichkeit
der Atome wird in dem vorliegenden Experiment
durch ein Erwärmen des Kristalls erreicht.

Auf den Spitzen der gezackten Oberfläche bildet
sich bei einer Erhitzung auf 2500 K eine zusätzliche
Struktur. In ihrer einfachsten Form sind es Ketten
von Nanopartikeln, die senkrecht zur Oberfläche
stehen. Die TiC-Kristalle, eingeschlossen von einer
Graphithaut, sind untereinander mit Nanoröhren
verbunden. Jedes dieser Röhren weist einen
Durchmesser von ca. 25 Nanometer auf. Die
Außenhaut besteht aus Kohlenstoff, der Innenkern
aus Titancarbid. Nach einer äußerst intensiven
Glühung bilden sich fein verästelte Nanostäbe, bis
sie schließlich bei einer weiteren Steigerung der
Heizrate und der Temperatur größere und gröbere,
verschlungene Formen ausbilden.

An den Endspitzen der Nanofäden fehlt oft die ein-
hüllende Graphithaut. Dies legt den Schluß nahe,



**Auf den Spitzen der gezackten Oberfläche
bildet sich bei einer Erhitzung auf 2500 K eine
zusätzliche Struktur. In ihrer einfachsten
Form sind es Ketten von Nanopartikeln, die
senkrecht zur Oberfläche stehen.**

Foto: Dr.-Ing. W. Klemm.

daß durch die Nanoröhren von dem unterliegen-
den Kristall bei der hohen Glüh Temperatur ein Stoff-
fluß erfolgt. Im Detail sind noch viele Fragen offen.
Die Wissenschaftler erwarten, daß diese Strukturen
technischen Einsatz in der Mikromechanik oder Mi-
kroelektronik finden könnten.

Weitere Informationen:

*Dr. rer. nat. Jens Günster,
Institut für Nichtmetallische Werkstoffe
der TU Clausthal
Zehntnerstraße 2a
Tel.: 05323 72-2612
e-mail: Jens.Guenster@tu-clausthal.de*

Eine Nase aus Strontiumtitanat soll Lambda-Sonde ersetzen

3-Wege-Katalysatoren werden seit langem eingesetzt, um den Schadstoffanteil in Autoabgasen zu verringern. Die Lambda-Sonde mißt dabei den Gehalt an Sauerstoff im Abgas und gibt ein Signal an die elektronische Einspritzung weiter, die das Luft-Kraftstoff-Verhältnis Lambda in einem engen Bereich um eins reguliert. Um das Verbrennungsverhalten und damit die Wirtschaftlichkeit der Motoren weiter zu verbessern, ist eine separate Regelung jedes einzelnen Zylinders wünschenswert. Die schnelle und genaue Einstellung von Lambda-Werten größer als eins, also einem gewissen Luftüberschuß, wirkt sich auch günstig auf den Kraftstoffverbrauch aus. Die Sonde muß sich hierbei möglichst nahe am Verbrennungsort, den sehr heißen Zylindern, befinden und daher nicht nur den Sauerstoffgehalt im Abgas sehr schnell (ca. 10 ms) und exakt (ca. 1 %) messen können, sondern auch gut miniaturisierbar sein und den hohen Temperaturen vor Ort Stand halten. All diese Anforderungen erfüllen herkömmliche Lambda-Sonden auf der Basis von Zirkoniumdioxid, die in einiger Entfernung im kühleren Abgasrohr montiert sind, nicht.

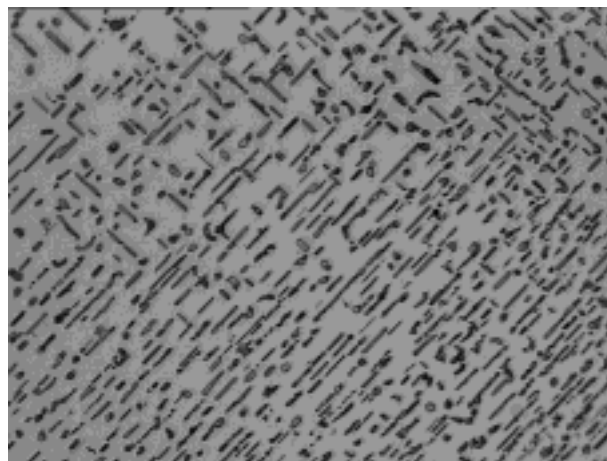
Strontiumtitanat, eine Verbindung aus der Perowskit-Gruppe, reagiert auf eine Veränderung des Sauerstoffgehalts in der umgebenden Atmosphäre sehr schnell mit einer Veränderung seiner elektrischen Leitfähigkeit und ist im geforderten Temperaturbereich stabil. Durch Donatordotierung des Materials, den Zusatz bestimmter Fremdatome wie Lanthan oder Niob, ist der Zusammenhang zwischen äußerem Sauerstoffpartialdruck und der Leitfähigkeit auch bei den hohen Sauerstoffgehalten in Autoabgasen eindeutig. Versuche mit Strontiumtitanat als Sondenmaterial zeigten aber, daß die Empfindlichkeit der Sonden mit zunehmender Lebensdauer deutlich abnahm. Nachfolgende Untersuchungen der Sonden ergaben, daß sich auf der Oberfläche des Materials inselartige Partikel abgeschieden hatten, die den Austausch von Sauerstoff einschränkten und zudem elektrisch nicht leitend waren.

Die wissenschaftlichen Mitarbeiter Dipl.Chem. Anissa Gunhold und Dr. Karsten Gömann erforschen nun die Ursachen der Bildung dieser sekundären Ausscheidungen. Projektleiter des interdisziplinären Forschungsvorhabens sind Dr. Wolfgang Maus-Friedrichs vom Institut für Physik und Physikalische Technologien und Professor

Dr.-Ing. Günter Borchardt vom Institut für Metallurgie. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft fördert das Vorhaben.

Wie funktioniert die „Nase“ aus Strontiumtitanat? Dr. Maus-Friedrichs erklärt: „In dotierten Strontiumtitanatkristallen befindet sich in Abhängigkeit von Temperatur, Dotierung und äußerem Sauerstoffpartialdruck eine gewisse Anzahl an Sauerstoffleerstellen. Wegen der notwendigen Ladungsneutralität werden sie durch quasi-gebundene Elektronen kompensiert. Diese Elektronen sind leicht beweglich. Legt man nun ein elektrisches Feld an, so fließt ein Strom. Zwischen der Anzahl der Sauerstoffleerstellen und dem außen anliegenden Sauerstoffpartialdruck entsteht ein dynamisches Gleichgewicht, in dem kontinuierlich Leerstellen aufgefüllt bzw. neue Leerstellen geschaffen werden. Die elektrische Leitfähigkeit wird dabei um so geringer, je höher der Sauerstoffpartialdruck in der umgebenden Gasatmosphäre ist. Dieses Meßprinzip funktioniert unabhängig von der Temperatur auch noch oberhalb von 1000 Grad Celsius. Nach einiger Zeit bilden sich aber die erwähnten Zweitphasen. Wir wollen verstehen, wie es zur Bildung dieser isolierenden Bereiche kommt und ob man diese Bildung verhindern kann. Hierzu sollen die chemische Zusammensetzung und die Anordnung der Atome im Kristallgitter der verschiedenen Oberflächenbereiche experimentell bestimmt werden.“

Im Institut für Physik und Physikalische Technologien wird mit oberflächensensitiven Untersuchungsmethoden gearbeitet, um die elektronischen Eigenschaften und die Topographie der Kristalle zu untersuchen: Photoelektronen-Spektroskopie, Metastabilen-Spektroskopie und Raster-Kraft- und Raster-Tunnel-Mikroskopie. Im Institut für Metallurgie werden an den gleichen Proben Diffusionsexperimente durchgeführt. Hierzu werden Tracer, in diesem Fall in der Natur nur selten vorkommende Isotope der in Strontiumtitanat enthaltenen chemischen Elemente, auf das Material aufgebracht. Danach werden die Proben für eine gewisse Zeit im Ofen hohen Temperaturen ausgesetzt. Dies führt dazu, daß die Tracerpartikel in das Material hineinwandern. Die Tiefe dieser Diffusion läßt sich nach dem Experiment mit dem Institut für Metallurgie installierten Se-



Auflichtmikroskopiebild (aufgenommen im Institut für Metallurgie), das die Inseln auf der Oberfläche der Strontiumtitanatkristalle nach 2-stündigem Heizen in synthetischer Luft (20% O₂ und 80% N₂) zeigt

kundärionen-Massenspektrometer messen. Aus den Ergebnissen kann bestimmt werden, mit welcher Geschwindigkeit Transportprozesse von Teilchen in Strontiumtitanat von statten gehen und welche Energie für ihre Aktivierung benötigt wird.

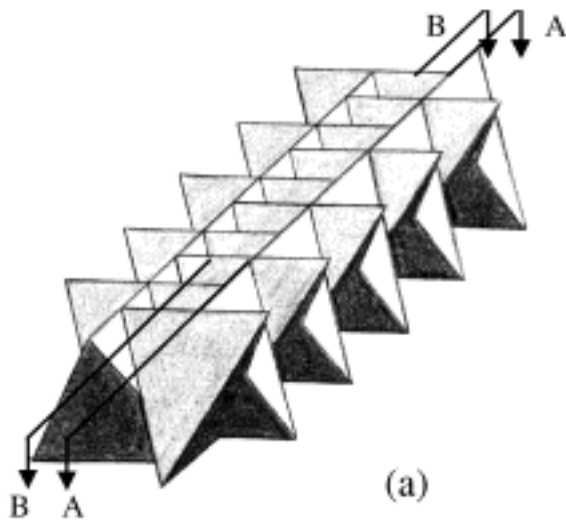
Zunächst sollen Einkristalle, später dünne, polykristalline Strontiumtitanatfilme untersucht werden. Letztere sind interessant, da sich mit dünnen Filmen besonders kleine Sensoren herstellen lassen. Die Rolle der einzelnen Einflußfaktoren, also Art und Konzentration der Dotierung, Zusammensetzung der Gasatmosphäre, Glüh Temperatur und -zeit, muß geklärt werden. Dann können Strategien entworfen werden, wie die Bildung der isolierenden Bereiche vermieden werden kann, d. h. wie die Strontiumtitanat-Nase ihre Empfindlichkeit behalten kann.

Bisher wurden im Rahmen dieses Forschungsprojektes drei Publikationen (1 gedruckt, 2 eingereicht) und zwei Konferenzbeiträge veröffentlicht.

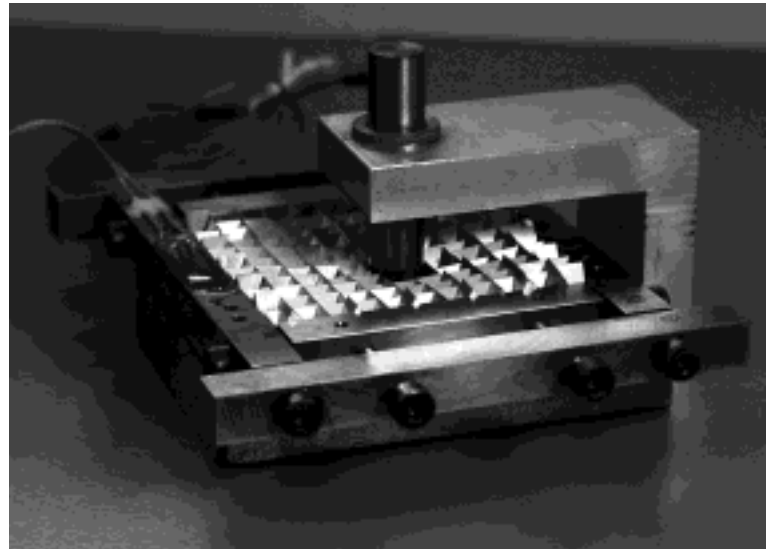
Weitere Informationen:

Dipl.-Chem. Anissa Gunhold
Institut für Physik und Physikalische Technologien der TU Clausthal
Leibnizstraße 4, 38678 Clausthal-Zellerfeld
Tel.: 05323/72-2756, Fax: 05323/72-3600
E-mail: anissa.gunhold@tu-clausthal.de
Homepage: <http://www.pe.tu-clausthal.de/ippt/>

Dr. rer. nat. Karsten Gömann
Institut für Metallurgie der TU Clausthal
Robert-Koch-Str. 42, 38678 Clausthal-Zellerfeld
Tel.: 05323/72-3688, Fax: 05323/72-3184
eMail: karsten.goemann@tu-clausthal.de
Homepage: <http://www.imet.tu-clausthal.de>



Bei dieser Anordnung sind die tetraederförmigen „Bausteine“ ineinander verzahnt



Eine verformte Prototypstruktur mit der verwendeten Testvorrichtung

Materialarchitektur eröffnet neue Werkstoffpaarungen und -eigenschaften

Bauen ohne Mörtel

Eine neue Materialarchitektur aus sich selbst verzahnenden Tetraedern stellen Prof. Dr. Arcady Dyskin, Universität West-Australien, Prof. Dr. Yuri Estrin, TU Clausthal, Dr. Alexej Kanel-Belov, Jugendzentrum für Wissenschaft und Technologie, Moskau, Rußland, und Frau Elena Pasternak, Universität West-Australien, in der Ausgabe der Fachzeitschrift *Scripta Materialia*, Vol. 44, Issue 12, pp. 2689 - 2694 (2001) vor.

Die Eigenschaften einer solchen Struktur ergeben sich allein aus der räumlichen Anordnung der Elemente. „So könnte beispielsweise auf dem Mond ohne Mörtel ein Bauwerk zusammengesetzt werden, das dem Einschlag großer Meteoriten standhält, denn diese Konstruktion aus Tetraedern weist eine wesentlich höhere Schlagzähigkeit auf. Gelingt es, diese pyramidenförmigen Bausteine sehr klein zu fertigen und in der gewünschten Weise zusammenzusetzen, so könnten verschiedenste Werkstoffe in einem Verbund miteinander gepaart werden“, erläutert Professor Estrin im Gespräch die Bedeutung des Konzepts.

Was ist der „Clou“ der Idee? Trennt man eine Ebene durch gerade Linien in Elemente, so entstehen einige „Schlüsselemente“, die, sofern sie „festgehalten“ werden, dafür sorgen, daß kein einziges Element in der Ebene verschoben werden kann. Den Autoren des neuen Konzepts ist es gelungen, dreidimensionale Strukturen zu finden, bei denen es keine Schlüsselemente gibt. Mit an-

deren Worten, jeder Baustein ist durch seine Nachbarschaft „arretiert“. Im Bauwesen kennt man zwar sich selbst verzahnende, dreidimensionale Strukturen, der „Schlüsselbart“ erzeugt aber Spannungsspitzen und stellt somit einen kritischen, bruchgefährdeten Bereich dar. Nun ist aber eine Topologie gefunden worden, in der die Elemente, frei von Spannungsspitzen, sich wechselseitig selbst tragen. Nur in Randbereichen ist ein Ausbrechen möglich. Daher wird die aus Tetraedern zusammengesetzte Struktur von einem festen Stahlrahmen umschlossen.

Die Wissenschaftler erprobten nun eine aus 100 Tetraedern (Kantenlänge: 1 cm) bestehende Struktur an einer Aluminiumlegierung. Dafür drückten sie mit einem Stempel mit wachsender Kraft auf die in den Stahlrahmen eingespannte „Matte“ aus verzahnten Tetraedern. „Unser zusammengesetztes Bauteil besitzt eine Nachgiebigkeit, die um den Faktor zehn größer ist, als bei einem Referenzbauteil als Massivkörper“, sagt Professor Estrin. „Und selbst wenn ein Element herausgedrückt wird, verliert die Konstruktion nicht ihre Stabilität, und je weiter der Stempel in die Konstruktion hineingedrückt wird, desto stärker wird der Widerstand gegen die Verformung. Dies ist dadurch zu erklären, daß die tetraederförmigen Bausteine bei dieser Konstruktion zusätzliche Rotationsfreiheitsgrade besitzen und sich bei der Verformung zum Stempel hin drehen.“

„Stellen wir uns eine solche Konstruktion aus keramischen Bauelementen vor, so würde die

neue Architektur die Eigenschaften gegenüber einem Massivkörper in verblüffender Weise verändern. Bei Keramiken wächst mit der Größe des Bauteils statistisch die Sprödigkeit. Die zu erwartende Anzahl von Fehlstellen und Mikrorissen steigt an. Eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber Sprödbbruch ist die unausweichliche Konsequenz. Dank den kleinen Abmessungen der gewählten Tetraeder ist die Gesamtanordnung erheblich bruchzähiger als der entsprechende Massivkörper. Selbst wenn ein nennenswerter Anteil der Elemente vollständig zerstört wird, trägt die Restkonstruktion.“

Nach den Vorstellungen der Autoren ermöglicht die neue Architektur vielversprechende Werkstoffpaarungen, zum Schallschutz etwa, oder zur Wärmedämmung. Das Interessante an diesem topologischen Konzept ist, daß es für verschiedene Skalen anwendbar ist – von der makroskopischen, wie etwa im Bauwesen, bis hin zur mikroskopischen, beispielsweise beim Design neuartiger Verbundwerkstoffe.

Weitere Informationen:

Technische Universität Clausthal

Prof. Dr. rer. nat. habil. J. Estrin,

Institut für Werkstoffkunde und Werkstofftechnik,
Agricolastraße 6,

D-38678 Clausthal-Zellerfeld,

Telefon: +49-5323-72 20 04

Telefax: +49-5323-72 31 48

eMail: juri.estrin@tu-clausthal.de

Neuartige Materialien für optische Anwendungen für den fernen UV-Bereich

Am Institut für Physik und Physikalische Technologien (IPPT) der TU Clausthal (Abteilung Prof. Dr. Volker Kempter) fand am 12. September, ausgerichtet von der Japanische Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften, JSPS, und der Deutschen Forschungsgemeinschaft, DFG, eine Arbeitstagung zum Thema „Neuartige Materialien für Optische Anwendungen für den fernen UV-Bereich“ statt. Die Professoren H. Nishi und K. Yoshida (Osaka Institute of Technology) und T. Sasaki (Osaka University) trugen zu ihren Forschungsthemen vor.

Prof. Nishi arbeitet an speziellen Beschichtungen von Faseroptiken, die bei der optischen Telekommunikation zum Einsatz kommen.

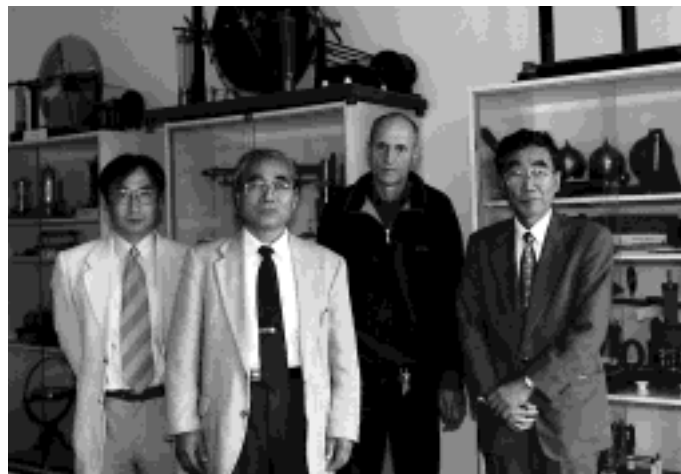
Prof. Yoshida arbeitet an der Entwicklung neuartiger Beschichtungen von Bauteilen aus CaF_2 und MgF_2 , die bei Lasern für den fernen UV-Bereich (266nm) Verwendung finden sollen. Die Kontrolle der Qualität der Beschichtungen sowie ihre Optimierung ist ein derzeit nur teilweise gelöstes Problem, bei dem Prof. Yoshida von der Expertise des IPPT profitieren wird.

Prof. Sasaki hat Borat-Kristalle, speziell $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO) entwickelt. Sie liefern beim Einsatz in UV-Lasern eine zweimal höhere UV-Laserleistung (23 W bei 266nm und 10kHz) als herkömmliche Systeme, bei denen $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$

(BBO)-Kristalle eingesetzt werden. Die CLBO-Kristalle besitzen darüber hinaus eine größere Lebensdauer gegenüber der Schädigung durch intensive Laserstrahlung. Ein ungelöstes Problem stellt die Hygroskopie, d.h. die Empfindlichkeit der CLBO-Kristalle gegenüber Luftfeuchte dar.

Der Clausthaler Beitrag zu diesem Problem wird darin bestehen, festzustellen, worin die Ursache für die Feuchteempfindlichkeit der CLBO-Kristalle liegt und Wege zur Beseitigung der Anfälligkeit der Kristalle aufzuzeigen.

Bei allen aufgetretenen Fragestellungen zur Charakterisierung und Optimierung der Oberflächen optischer Kristalle werden vom IPPT verschiedene Arten der Elektronenspektroskopie, insbesondere die Photoelektronenspektroskopie (UPS – HeI und II) und Spektroskopie mit metastabilen Atomen (MIES) eingesetzt.



(v.l.n.r.) Prof. Dr. Nishi, Prof. Dr. Yoshida, Prof. Dr. Kempter, Prof. Dr. Sasaki

*Weitere Informationen:
Technische Universität Clausthal
Institut für Physik und
Physikalische Technologien
Prof. Dr. V. Kempter
Leibnizstr. 4*

*38678 Clausthal-Zellerfeld
Tel: 0049 5323 72 2363*

FAX: 0049 5323 72 3600

eMail: Volker.Kempter@tu-clausthal.de

Ausstattung des Instituts für Polymerwerkstoffe und Kunststofftechnik wächst weiter

Seit November 1998 ist Prof. Ziegmann nun an der TU Clausthal. Neben dem Aufbau der Lehre für den neuen Studiengang „Kunststofftechnik“ und der gesamten Infrastruktur des neu gegründeten Instituts hat er die maschinelle Ausstattung mit Unterstützung des „Niedersächsischen Vorab“ der Volkswagenstiftung aufgebaut.

Das Institut verfügt aufgrund der Unterstützung bereits heute über modernste Spritzgießmaschinen in der Ein- und Mehrkomponententechnik, einen modernen Zweischnellenextruder mit besonderer Einrichtung für Mischgüteuntersuchungen für Forschungszwecke. Darüberhinaus verfügt das Institut

über eine eigenentwickelte Diaphragmaanlage zur Verarbeitung von faserverstärkten Thermoplasten. Ausstattungen in der mechanischen Prüftechnik, der Thermoanalyse und der Rheologie vervollständigen die heutige Ausstattung. Dank der im Juli freigegebenen zweiten Rate können die weiteren geplanten Maschinen investiert werden. Hierbei handelt es sich um eine Wickel-/Tapelegeeinheit, eine große Laborpresse und eine Verarbeitungszelle für die sog. RTM (Resin Transfer Moulding)-Technik, die im Bereich der Faserverbundwerkstoffe in Luftfahrt, Transport-, Automobilindustrie etc. zunehmend Fuß faßt.

Diese erweiterte Ausstattung stärkt die Position des Instituts im wissenschaftlichen und anwen-

dungsorientierten Forschungsbereich ungemein. Sie bildet die Basis für die Philosophie des Institutsleiters, durch Werkstoff- und Verfahrenskombination zu neuen Strukturlösungen mit integrierten Funktionalitäten zu gelangen.

Erste Forschungsvorhaben und Industrieaufträge zeigen bereits die Bedeutung der grundlagen- und anwendungsbezogenen Forschung auf diesem interessanten und für Niedersachsen so wichtigen Gebiet. Das hochmodern eingerichtete Labor ist für neue Kooperationen natürlich immer offen, wir freuen uns über neue Kontakte und erweiterte Arbeits- und Forschungsgebiete.

Kontaktadresse

*Prof. Dr.-Ing. G. Ziegmann
Institut für Polymerwerkstoffe
und Kunststofftechnik
Agricolastraße 6
39678 Clausthal-Zellerfeld
Tel.: 05323-722090
Fax: 05323-722324
e-mail: ziegmann@puk.tu-clausthal.de*

Neuer Aspekt der Sicherheitsbewertung von Salzformationen wird erforscht

Herkunft und Migration von Gasen in Salzstöcken mariner Bildung

Mit 2,1 Millionen Mark fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung das auf drei Jahre angelegte Forschungsvorhaben von Dr. Michael G. Siemann, Institut für Mineralogie und Mineralische Rohstoffe der Technischen Universität Clausthal, zum Thema der „Herkunft und Migration mineralgebundener Gase in marinen Evaporiten“. Das Forschungsvorhaben dient dem Ziel, das Instrumentarium für die Sicherheitsbewertung untertägiger Entsorgungseinrichtungen zu verbessern.

Marine Evaporite enthalten in geringen Konzentrationen Gase, und man weiß kaum, wie diese sich auf dessen Langzeitbarrierewirkung im Falle einer Endlagerung radioaktiver oder chemisch-toxischer Stoffe auswirken. Hier setzt das Clausthaler Forschungsvorhaben an. Es soll helfen die offene Frage zu entscheiden, ob und gegebenenfalls wie weit die

bei der Eindunstung aus dem Meerwasser zurückgebliebenen Gase im Salzstock von ihrem Bildungsort aus gewandert sind. Die an den natürlich vorkommenden Gasen gewonnenen Einsichten dienen als Analogon zur Beurteilung der Frage: Wie würden sich die bei einem möglichen Betrieb eines Endlagers in einer Salzformation produzierten Gase in geologischen Zeiträumen verhalten?

Allgemein können die Gase in Evaporiten hinsichtlich ihrer Fixierung in zwei Arten unterschieden werden: freie und mineralgebundene Gase. Freie Gase sind auf Spalten oder Klüften gespeichert. Mineralgebundene Gase, um die es schwerpunktmäßig in dem nun begonnenen Forschungsvorhaben geht, liegen in inter- und intrakristalliner Form vor. Interkristalline Gase sind auf den Mineralkomngrenzen gespeichert, intrakristalline Gase in Mineralkörnern eingeschlossen. Es wird vermutet daß die Gase auf den Mineralkomngrenzen bei me-

chanischer Beanspruchung des Gesteins wandern, intrakristalline Gase in Einschlüssen jedoch davon unbeeinflusst bleiben.

Die Untersuchungen werden an mehreren frischen Bohrungen aus einer flachen Lagerung, einem stark verfalteten Salzstock sowie einer dritten Bohrung in einer mittleren beanspruchten Formation durchgeführt. Es sollen die stabilen Isotope des molekularen Stickstoffs, Sauerstoffs und Wasserstoffs sowie der Bestandteile der Kohlenwasserstoffe an intra- und interkristallinen Gasen separat gemessen, sowie deren Migration bestimmt werden.

Weitere Informationen:

Technische Universität Clausthal, Institut für Mineralogie und Mineralische Rohstoffe
Fachgebiet Mineralogie,
Geochemie, Salzlagerstätten,
Dr. Michael Siemann,
Adolph-Roemer-Str. 2a,
38678 Clausthal-Zellerfeld,
Tel: +49 5323 72 2051,
FAX: +49 5323 72 3737,
eMail: michael.siemann@tu-clausthal.de,
<http://www.immr.tu-clausthal.de/~mrms>

Anzeige



BEB Erdgas und Erdöl GmbH
Unternehmenskommunikation
Rietthorst 12, 30659 Hannover
Telefon 0511 641-2123, Telefax 0511 641-1005
E-mail info@beb.de, <http://www.beb.de>

Besuchen Sie uns im Internet www.beb.de

Wie dynamisch Sie wachsen, hängt auch von Ihrer Energie ab

Märkte erobern. Zukunftsfragen zielsicher entscheiden. Mit der richtigen Energie erfolgreich sein. Zukunftsorientierte Unternehmen setzen auf Erdgas. Denn Erdgas ist besonders wirtschaftlich, immer verfügbar, umweltschonend. Und auch die Versorgung ist langfristig gesichert.



Dazu trägt BEB bei. Als größter einheimischer Erdgas-Produzent und als Importeur decken wir 20% des gesamten deutschen Verbrauchs. Wir stehen für integrierte Erdgasversorgung: Von der Berücksichtigung der Umweltbelange und höchsten Qualitätsanforderungen in Produktion und Aufbereitung. Über Sicherheit und Effizienz bei Transport und Speicherung. Bis hin zum Service in der Vermarktung. Wir sind verlässlicher Partner im zunehmenden Wettbewerb.

 **BEB**
Unternehmen Erdgas

Beeinflussen Handlungs- bzw. Lageorientierung das Entscheidungsverhalten?

Eine auch für Manager interessante Studie

Von Regina Semmler-Ludwig

Vorausschauende Entscheidungen stellen sowohl in zahlreichen Berufen als auch in vielen Sportarten, zum Beispiel den Sportspielen, einen wesentlichen Leistungsfaktor dar. Determinante eines vorausschauenden Entscheidungsverhaltens ist die Antizipation, die gedankliche Vorwegnahme von Zukünftigem im gegenwärtigen Augenblick. Sie ist für Manager ebenso von Bedeutung wie für leitende Ingenieure bzw. leistungsstarke Handballsportler. Handballspieler müssen beispielsweise infolge der Komplexität, Dynamik und taktischen Determiniertheit der Spielsituationen unter ständig wechselnden Bedingungen wahrnehmen, reflektieren, antizipieren und entscheiden.

Untersuchungen von 180 jugendlichen leistungsorientierten Handballspielern zeigten große inter- und intraindividuelle Differenzen hinsichtlich der genannten kognitiven Komponenten der Bewegungssteuerung (Semmler 1989). Entsprechende Analysen ergaben sowohl beachtliche Reserven im vorausschauenden Entscheidungsverhalten als auch signifikante Verbesserungen durch entsprechend akzentuierte Trainingsprogramme.

Theoretische Grundpositionen

Den theoretischen Rahmen weiterführender Untersuchungen eines vorausschauenden Entscheidungsverhaltens bildete die Handlungskontrolltheorie von Kuhl (1984). Ein Aspekt der Handlungskontrolle ist die Sparsamkeit der Informationsverarbeitung. Sie steht in engem Zusammenhang mit dem Konstrukt der planungsbezogenen Handlungs- und Lageorientierung. Ergebnisse von Entscheidungsexperimenten (Kuhl/Beckmann 1983, Stiensmeier-Pelster/John/Stulik/Schürmann 1989) sprechen für die Annahme, daß planungsbezogene Lageorientierung das Ingangsetzen einer beabsichtigten Handlung behindert.

Handlungs- und Lageorientierung sind Extrempositionen, zwischen denen fließende Übergänge und unterschiedliche Kombinationen in Abhängigkeit von den jeweiligen Bedingungen möglich sind (Beckmann 1986). Bei einer Verbindung des Personenfaktors Handlungs- versus Lageorientie-

rung mit dem Kontingenzmodell von Beach/Mitchell (1978) wird folgende Nutzen-Kosten-Analyse angenommen (Christensen-Szalanski 1978, 1980; Payne 1987, Roth/Strang 1991): Handlungsorientierte Menschen betrachten insbesondere die Zeit als Kostenfaktor, lageorientierte insbesondere Qualitätsmerkmale.

Bei zielorientierter externaler Steuerung werden spezielle Interaktionen zwischen den Personen- und Situationsfaktoren erwartet. Es wird angenommen, daß bestimmte Instruktionen oder Streßsituationen als Impulse zum Stoppen des ausschweifenden Abwägens von Entscheidungsalternativen bei lageorientierten Personen und zu einer verstärkten Situationsanpassung führen. Für handlungsorientierte Spieler werden weniger variierende Resultate aufgrund der angenommenen geringeren Bereitschaft, ihre Selbststeuerung zugunsten einer Außensteuerung bzw. alternieren der externaler Bedingungen aufzugeben, erwartet.

Untersuchungsdesign

Ein mehrfaktorieller Untersuchungsplan diente der Analyse des Einflusses der personenbezogenen Konzentrationsmerkmale Handlungs- und Lageorientierung auf die abhängigen Variablen:

- Reaktionszeiten
- Schwierigkeitswahl und Realisierung optomotorischer Leistungen
- Richtigkeit und Schnelligkeit handballbezogener Antizipationsleistungen
- Schwierigkeitswahl und Wurfanzahl bei Würfeln auf ein Zielquadrat in verschiedenen spielnahen Situationen.

Personenfaktor

Die Handlungs- bzw. Lageorientierung der Probanden wurde mit Hilfe der Subskala „Handlungskontrolle bei der prospektiven Handlungsplanung“ des HAKEMP-Fragebogens (Kuhl 1988) ermittelt. Sie umfaßt 16 Items mit Entscheidungsmöglichkeiten zwischen handlungs- und lageorientierten Antworten. Auf der Grundlage des Medianwertes der Summe der handlungsorientierten Antworten erfolgte die Zuordnung der Probanden. Im Interesse einer

differenzierten Ergebnisauswertung wurden durch eine Dreiteilung der Summenpunktwerte und das Herauslassen des mittleren Bereiches Extremgruppen gebildet.

Insgesamt nahmen 64 Sportstudenten an den Untersuchungen teil. Sie hatten bereits mindestens einen Handballkurs abgeschlossen, so daß ein hinreichendes Wissen und Können für die Testanforderungen angenommen wurde. Das Durchschnittsalter betrug 24 Jahre.

Situationsfaktor

Alle Tests wurden zunächst in Ruhe (Meßwiederholungsfaktor 1) durchgeführt. Die Reaktionszeiten, die Schwierigkeitswahl sowie die optomotorischen Leistungen wurden zusätzlich bei psychischer und physischer Belastung erfaßt. Die psychische Belastung (Meßwiederholungsfaktor 2) wurde durch das Abspielen einer Cassette eines Handball-Europapokal-Finalspiels in größtmöglicher Lautstärke induziert. Beim Situationsfaktor „physische Belastung“ (Meßwiederholungsfaktor 3) hatten die Probanden die oben genannten Computertests auf einem Fahrradergometer zu realisieren, sobald sie eine Pulsfrequenz von 145 (Frauen) bzw. 155 Schlägen pro Minute (Männer) erreicht hatten.

Untersuchungsmethoden

- *Computertestbatterie zur Erfassung von Reaktionen und optomotorischen Leistungen (Semmler 1992)*

Auf dem Bildschirm werden unterschiedlich schnelle Ballflüge zunächst auf einer Geraden, dann auf einer Parabel simuliert. Der Ball ist bei 10 Geraden- und 10 Parabelflügen die gesamte Flugzeit zu sehen und an einer vorgegebenen Stelle mittels Tastendruck zu stoppen (reaktiver Aspekt). Bei 10 weiteren Testsituationen wird der Ballflug an einer bestimmten Stelle ausgeblendet (optomotorischer Aspekt). Der Proband kann diesbezüglich zwischen drei verschiedenen Schwierigkeitsgraden wählen und selbst entscheiden, ob der Ball nach kurzer, mittlerer oder langer Flugzeit ausgeblendet werden soll. Die jeweiligen Testanweisungen sind vom Videoschirm abzulesen. Erfäßt werden:

- die Einzelwerte, Mittelwerte und Streuungen der Abweichungen vom Zielpunkt sowie
- die gewählten Schwierigkeitsgrade bei den Reaktionstests und den optomotorischen Tests.

Die Gesamttestzeit beträgt ca. 15 Minuten.

- *Videotest zur Erfassung handballbezogener Antizipationsleistungen (Semmler 1992)*

Die Probanden sehen einen Handball-Videoband. Sie hören zunächst bei gleichzeitiger ▶

Darbietung von Testbildern auf einem Fernsehmonitor die auf Videokassette gesprochene Testanweisung. Es folgen 20 Testsituationen, in denen die Probanden in Zeitlupe verschiedene Spielszenen mit Würfeln auf ein Handballtor sahen, bei denen sie aus der Sicht des Torwartes rechtzeitig die Ecke zu antizipieren haben, in die geworfen wurde. Es kann zwischen sechs Varianten gewählt werden. Erfasst werden Schnelligkeit (in Millisekunden) und Genauigkeit der Antizipationsleistungen. Die Untersuchungen werden in etwa zehnminütigen Einzeltests realisiert.

- *Sportmotorischer Test zur Analyse von Strategien bei Würfeln auf ein Zielquadrat (Roth/Semmler 1991)*

Der Proband wird instruiert, so oft wie möglich während einer Minute ein vorgegebenes Zielquadrat (1m x 1m) in einem Handballtor zu treffen. Er kann zwischen drei verschiedenen Abwurfzonen (9, 12 und 15 m bei den Frauen und 12, 15 und 18 m bei den Männern) wählen, wobei der Korb zur Entnahme der Bälle an der am weitesten vom Tor entfernten Abwurfline steht. Die Versuchsperson hat somit die Wahl zwischen relativ sicheren Würfeln aus geringen Entfernungen vom Tor (jedoch mit Zeiteinbußen aufgrund der längeren Laufwege) und einer höheren Anzahl von Würfeln aus einer größeren Tordistanz. Erfasst werden die Anzahl der Würfe und der Treffer, die Abwurfzonen bzw. Schwierigkeitsgrade und eventuelle Wechsel von Abwurfzonen.

Ausgewählte Ergebnisse

Vergleich der Leistungen Handlungs- bzw. Lageorientierter ohne zusätzliche Belastung

In mehrfaktoriellen Varianzanalysen traten bezüglich der Resultate der handlungs- und lageorientierten Probanden in den Reaktionstests signifikante Gruppeneffekte auf (sig.=0,03). Die handlungsorientierten Versuchspersonen zeigten im ersten Reaktionstest mit den geraden Ballflügen schnellere Reaktionen als die Lageorientierten. Im zweiten Reaktionstest steigerten die Lageorientierten ihre Leistungen und erreichten nahezu die Ergebnisse der Handlungsorientierten.

Die gleiche Tendenz konnte bei den optomotorischen Leistungen beobachtet werden.

Signifikante Interaktionen zwischen Antizipationsleistungen und dem Personenfaktor Handlungs- bzw. Lageorientierung gab es beim Handball-Videotest. Die handlungsorientierten Spieler antizipierten signifikant schneller (sig.= 0,04), aber mit mehr Fehlern als die lageorientierten (Tabelle 1).

Während des sportmotorischen Tests bevorzugten die handlungsorientierten Spieler geringfügig entferntere Distanzen vom Tor. Sie warfen durchschnittlich öfter und erreichten 3 Treffer pro Versuch mehr als die lageorientierten Versuchspersonen. Die Resultate der Extremgruppen zeigten

Probanden	Zeit in s	Fehler in %
HO	6,15	32,0
LO	6,52	23,5

Tab. 1: Durchschnittliche Antizipationsleistungen extrem handlungs-(HO) und lageorientierter (LO) Probanden beim Handball-Videotest

diese Tendenz in noch stärkerem Maße (vgl. Diskriminanzanalysen im folgenden Abschnitt).

Vergleich der Leistungen Handlungs- und Lageorientierter ohne und mit zusätzlicher Belastung

Mehrfaktorielle Varianzanalysen bestätigten hinsichtlich der Reaktionstests signifikante Interaktionen zwischen dem Situationsfaktor Belastung und dem Personenfaktor Handlungs- versus Lageorientierung (sig.= 0,001 und 0,028). Nach längeren Reaktionen im ersten Test ohne zusätzliche Belastung tendierten die lageorientierten Probanden unter psychologischem Streß zu schnelleren Reaktionen als die handlungsorientierten. Bei physischer Belastung waren ihre Resultate dagegen schlechter als die der handlungsorientierten Sportler. Eine ähnliche Tendenz ließ sich bei dem zweiten Reaktionstest mit dem Parabelflug beobachten.

Die Analysen zeigten auch signifikante Effekte zwischen dem Personenmerkmal und der Schwierigkeitswahl (sig.= 0,003) sowie tendenzielle Effekte zu den optomotorischen Leistungen (sig.= 0,007). Während beispielsweise die handlungsorientierten Probanden bei allen parabolischen Ballflügen konstante Schwierigkeitsgrade wählten, tendierte ein Teil der lageorientierten Versuchspersonen unter psychischem Streß zu höheren Schwierigkeitsgraden. Er erreichte dabei trotzdem ebenso gute bzw. bessere optomotorische Leistungen. Bei den Tests unter physischer Belastung erreichten die handlungsorientierten Handballspieler bei weitestgehend gleichbleibenden Schwierigkeitsgraden bessere Ergebnisse.

Bei den Extremgruppen traten hinsichtlich des Situationsfaktors Streß ebenfalls signifikante Effekte (sig.= 0,02) und Interaktionen (sig.= 0,073) mit den Reaktionszeiten auf. Die unterschiedlichen Belastungssituationen beeinflussten auch die Wahl der Schwierigkeitsgrade; beispielsweise tendierten extrem lageorientierte Probanden unter psychischem Streß zu höheren Schwierigkeitsgraden. Trotzdem verbesserten sie unter diesen Bedingungen – das heißt bei lautem Klatschen bzw. Piffen – ihre optomotorischen Leistungen. Ihre Testergebnisse unter physischer Belastung waren schlechter als die der extrem handlungsorientierten Versuchspersonen. Extrem handlungsorientierte Sportler erreichten im ersten Test nahezu konstante optomotorische Leistungen; im zweiten verbesserten sie sich insbesondere bei zusätzlicher physischer Belastung.

Diskriminanzanalysen aller Leistungen

Um zu sehen, ob bzw. inwiefern das theoretische Konstrukt der Handlungs- bzw. Lageorientierung geeignet ist, um interindividuelle Differenzen hinsichtlich der Schnelligkeit und Qualität im vorausschauendem Entscheidungsverhalten zu erklären, wurden zusätzlich Diskriminanzanalysen realisiert. Das heißt, aufgrund der erfaßten Leistungen (s. o., „Untersuchungsdesign“) wurden die Probanden zwei Gruppen bzw. Extremgruppen zugeordnet. Mit Hilfe der Diskriminanzanalysen wurde überprüft, inwieweit diese Leistungsgruppen mit den aufgrund des Fragebogens gebildeten Gruppen von (extrem) Handlungs- bzw. Lageorientierten übereinstimmen.

Bei den extrem handlungs- und lageorientierten Sportlern ergaben Diskriminanzanalysen eine hundertprozentige Übereinstimmung zwischen den Leistungs- und den Fragebogengruppen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß nur 25 extrem orientierte Probanden an den Untersuchungen teilnahmen.

In Bezug auf alle 64 Versuchspersonen wurden 74% richtig klassifiziert. Konkret bedeutet das, daß 42 von 64 untersuchten Studenten ein vorausschauendes Entscheidungsverhalten entsprechend den theoretischen Annahmen realisierten; 22 Probanden konnten nicht eindeutig klassifiziert werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse verdeutlichen die Beeinflussung des vorausschauenden Entscheidungsverhaltens bei ca. drei Vierteln der untersuchten Studierenden durch den Personenfaktor Handlungs- bzw. Lageorientierung in Abhängigkeit der jeweiligen Situationen.

Handlungsorientierte variierten Schwierigkeitsgrade und Leistungen in geringerem Maße als Lageorientierte. Handlungsorientierte Personen agierten in Entscheidungssituationen ohne zusätzliche Belastung durchschnittlich schneller, aber mit mehr Fehlern als lageorientierte. Physischer Streß beeinträchtigte die Leistungen handlungsorientierter Sportler in geringerem Maße als die lageorientierter (vgl. Roth/Strang 1991). In Situationen mit psychischem Streß steigerten lageorientierte Probanden ihre Leistungen und erreichten gleich gute bzw. sogar bessere Resultate als handlungsorientierte. ▶

Bei Untersuchungen mit weiteren Probanden antizipierten Handlungsorientierte im Durchschnitt ebenfalls erwartungsgemäß tendenziell schneller, aber mit mehr Fehlern als Lageorientierte. Beim Wiederholungstest erreichten Handlungs- und Lageorientierte bei unterschiedlichen Veränderungen der gleichzeitig gemessenen EEG (Elektroencephalogramm)-Grundaktivität nahezu gleiche Antizipationsleistungen (Semmler/Beyer/ Grunwald 1994). Die Erregungszustände des funktionellen Systems unter-

schieden sich bei Handlungs- und Lageorientierten. Die handlungsorientierten Versuchspersonen tendierten im Vergleich zu den lageorientierten zu einer differenzierten Aktivierung des Zentralen Nervensystems und somit zu einer sparsameren Informationsverarbeitung der Handlungsorientierten im Vergleich zu den Lageorientierten entsprechend der Annahmen der Handlungskontrolltheorie von Kuhl (1984) und bisherigen Untersuchungsergebnissen zu aufgaben- bezogenen langsamen Potentialverände-

rungen (Hasche/Tennigkeit/Kuhl 1991).

Im Fragebogen mit Situationen aus dem Handballsport antworteten die Probanden durchschnittlich handlungsorientierter als in dem mit Alltagssituationen. Die Ergebnisse untermauern die These, daß Handlungs- und Lageorientierung nicht nur als Persönlichkeitsdisposition auftreten, sondern auch durch bestimmte Situationen induziert werden können (Semmler 1999).

LITERATUR

Beach, L.R./Mitchell, T.R. (1978):

A contingency model for the selection of decision strategies. In: Academy of Management Review. 3, pp. 439 – 449

Beckmann, J. (1986):

Höchstleistung als Folge mißglückter Selbstregulation. In: Jansen, J.-P./Schlicht, W./Strang, H. (Hrsg.): Handlungskontrolle und soziale Prozesse im Sport. Köln, S. 52 – 63

Beyer, L./Meyer, K./Weiss, T./Hansen, E./Rost, R.:

Zentralnervale Aktivierung als ein psychophysiologischer Aspekt motorischer Prozesse. In: L.

Beyer/Th. Weiss (Red.):

Psychophysiologie motorischer Prozesse. Psychomotorik in Lehre und Forschung, Band 13, S. 11 – 19. Kassel

Christensen-Szalanski, J.J. (1978):

Problem solving strategies: A selection mechanism, some implications and some data. In: Organisational Behavior and Human Performance, 22, pp. 307 – 323

Christensen-Szalanski, J.J. (1980):

A further examination of the selection of the problem solving strategies: The effects of deadlines on analytical aptitudes. In: Organisational Behavior and Human Performance, 25, pp. 107 – 122

Haschke, R./Tennigkeit, M./Kuhl, J. (1991):

Personality and task related slow potential shifts. The role of test anxiety and action vs. state orientation in top ranking soccer players coping with failure. In: J. Kuhl/T. Goschke/M. Kazen-Sad (Red.): A Theory of Self-Regulation. Personality, Assessment, and Experi-

mental Analysis. Volume II, pp. 78 – 95. Osnabrück

Kuhl, J./Beckmann, J. (1983):

Handlungskontrolle und Umfang der Informationsverarbeitung: Wahl einer einfachen (nicht optimalen) Entscheidungsregel zugunsten rascher Handlungsbereitschaft. In: Zeitschrift für Sozialpsychologie, 14, S. 242 – 250

Kuhl, J. (1984):

Volitional aspects of achievement motivation and learned helplessness: Toward a comprehensive theory of action control. In: B.A. Maher/W.B. Maher (Eds.): Progress in experimental personality research, Vol. 13: Normal personality processes. Orlando, pp. 99 – 171

Kuhl, J. (1991):

A theory of action and state orientation. In: J. Kuhl/T. Goschke/M. Kazen-Sad. A Theory of Self-regulation: Personality, Assessment, and Experimental Analysis. Volume I. Osnabrück, pp. 4 – 45

Payne, J.W. (1987):

Contingent decision behavior. In: Psychological Bulletin, 92, pp. 382 – 402

Roth, K./Strang, H. (1991):

Kontrolle von Entscheidungshandlungen. Manuskript. Berlin

Roth, K./Semmler, R. (1991):

Sportmotorischer Test zur Analyse von Strategien bei Würfeln auf ein Zielquadrat. Unveröffentlichtes Manuskript. Freie Universität Berlin

Semmler, R. (1989):

Zur Entwicklung der Antizipation bei jungen Handballspielern im außerunterrichtlichen Sport. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der

Universität Rostock, G-Reihe, 38(9), S. 42 – 44

Semmler, R. (1992):

Zum Einfluß der personengebundenen Konzentrationsmerkmale Handlungs- und Lageorientierung auf kognitive Komponenten der Bewegungssteuerung bei Handballspielern. In: Kaul, P./Zimmermann, K.W. (Hrsg.):

Psychomotorik in Forschung und Praxis. Bd. 13: Psychophysiologie motorischer Prozesse. Kassel, S. 95 – 112

Semmler, R./Beyer, L./Grunwald, M. (1994):

Zur zentral-nervalen Aktivierung bei Antizipationsleistungen von Handballspielern. In P.Blaser/C. Stucke (Hrsg.): Steuer- und Regelvorgänge der menschlichen Motorik als Determinanten der sportlichen Leistung. Sankt Augustin, S. 123 – 128

Semmler, R.:

Psychophysiologische Betrachtungen zu Antizipationsleistungen von Handballspielern (1999): In: Wegner, M./Wilhelm, A./Janssen, J.-P.: Empirische Forschung im Sportspiel. Kiel, S. 61 – 73

Stiensmeier-Pelster, J./John, A./Stulik, A./Schürmann, M. (1989):

Die Wahl von Entscheidungsstrategien: Der Einfluß von Handlungs- und Lageorientierung und die Bedeutung psychologischer Kosten. In: Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie. Band XXXVI, 2, S. 292 – 310

PD Dr. Regina Semmler-Ludwig, Sportinstitut
Julius-Albert-Straße 2, 38678 Clausthal-Zellerfeld
Tel.: 05323/72-7801, Fax: 05323/72-7899

Technologietransferpreis für faseroptischen Lasersensor

Quantitative in-situ Analyse von aromatischen Kohlenwasserstoffen

Mit dem Technologietransferpreis der Industrie- und Handelskammer (IHK) Braunschweig wurde Professor Dr. Wolfgang Schade, Institut für Physik und Physikalische Technologien der TU Clausthal, am 12. November ausgezeichnet.

Professor Schade erhält die Auszeichnung für die Entwicklung eines faseroptischen Lasersensors, mit dem aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) in Flüssigkeiten, Böden, Granulaten oder Erzen online und in-situ quantitativ nachgewiesen werden können. Das Gerät ist patentiert und wird von der Firma Systekum GmbH in Glücksburg unter dem Namen KONTAVISOR vertrieben. Mit dem Verfahren lassen sich außer PAHs auch einzelne Chemikalien in komplexen Medien (z.B. Toluol in Pflanzenschutzmitteln) selektiv nachweisen.

Damit ergeben sich vielfältige Einsatzbereiche, wie zum Beispiel die Überwachung von Kühl- und Speisewassersystemen, die Prozeß- und Qualitätskontrolle oder die Detektion von Kontaminationen in Industrieleitungen, Gewässern und Böden.

Wie funktioniert das Verfahren?

Die Stoffe, welche die Belastung enthalten, werden mit kurzen UV-Laserpulsen angeregt. Die emittierte Fluoreszenz wird wellenlängenspezifisch und zeit aufgelöst registriert und anschließend ausgewertet. Die Übertragung des Laserlichts zum Ort der Analyse und die des Fluoreszenzsignals zum Detektor erfolgt über Lichtleiterkabel. Im Gegensatz zu konventionellen Analyseverfahren ist der faseroptische Lasersensor unempfindlich gegenüber Störeinflüssen, z.B. Trübung oder Schwebstoffe im Analysemedium, und er benötigt keine Probenaufbereitung.

MINIATURISIERTE METHODE

Das Meßverfahren paßt heute in ein transportables, robustes Gerät (19 Zoll Einschub). Die Miniaturisierung des Meßverfahrens gelang durch den Einsatz eines neuartigen, frequenzvervielfachten Microchip-Lasers. Für Mineralölverunreinigungen und Laseranregung bei 266 bzw. 355 nm liegen die Nachweisgrenzen bei 1 mg/l in Flüssigkeiten und bei 10 mg/kg in festen Medien.

INDIVIDUELL ANPASSBAR

Neben den genannten Bereichen kann das Meßsystem individuell und abgestimmt auf die jeweilige Situation im Umweltbereich, in der industriellen Prozeß- und Qualitätskontrolle oder der chemischen Analytik eingesetzt werden. Es bietet daher Unternehmen und Behörden eine interessante und günstige Alternative zu konventionellen Laborverfahren.

Weitere Informationen:

*Technische Universität Clausthal
Institut für Physik und Physikalische Technologien
Abteilung Angewandte Photonik
Professor Dr. Wolfgang Schade
Dipl.-Phys. Dirk Scheel
Tel. (053 23) 72 - 20 61/23 70
Fax. (053 23) 72 36 00
eMail: wolfgang.schade@tu-clausthal.de, und
dirk.scheel@tu-clausthal.de
WWW: <http://www.pe.tu-clausthal.de/AGSchade/index.html>*

Das Clausthale Gesteinstomographielabor

Von Günter Pusch und Rüdiger Meyn

Mit den tomographischen Visualisierungsverfahren, wie der Röntgentomographie oder der Kernspinresonanztomographie, können Objekte unter ihren natürlichen Einsatzbedingungen untersucht werden. Beide Methoden ergänzen einander, da die raumaufauflösende Röntgenstrahlabsorptionsmethode eine der Abschwächung proportionale Dichteverteilung mit einer hohen Genauigkeit und Ortsauflösung unterhalb des Millimeterbereiches zeigt. Mit der Methode können daher z. B. Hohlraumstrukturen in einer Gesteinsmatrix abgebildet werden. Die Kernspinresonanztomographie (NMR) zielt dagegen darauf ab, die Konzentration und Beweglichkeit der Wasserstoffatome (Kernspin) in einer Hohlraumausbildung konformen Signalcharakteristik zu bestimmen. Daraus können Fluidsättigungen und Durchlässigkeiten des porösen Gesteins abgeleitet werden.

Gesteinsphysik an der Technischen Universität Clausthal

Ein besonderer Schwerpunkt im Bereich der gesteinsphysikalischen Forschung an der Technischen Universität Clausthal sind die hydraulischen Eigenschaften poröser Medien. Der unmittelbare Bezug zu diesem Forschungsthema ist sowohl in den angewandten Geowissenschaften, im Bergbau und hier insbesondere im Bereich des Fluidbergbaus und in der Strömungsmechanik zu finden. Dazu zählen insbesondere die Arbeiten von Schopper und Mitarbeitern zur Korrelation von Porosität und Permeabilität poröser Medien. Ausgehend von der Archie-Gleichung, in der ein elektrisches Analogon zu den hydraulischen Fließprozessen gefunden wurde, sind die von Riepe, Pape und Schopper erweiterten Beziehungen zwischen inneren Gesteinsoberflächen und Porenvolumen auf ein für die Permeabilitätsbestimmung relevantes Stoffmodell (Paris-Gleichung) übertragen worden. In späteren Arbeiten von Jonas wurde die Selbstähnlichkeit der mikroskopischen Porenräume mit den makroskopischen Wegsamkeiten im Gestein durch sogenannte fraktale Ansätze beschrieben. Aber auch mit fraktalen Dimensionen ist es nicht möglich, eine generelle Lösung für diese Problemstellung zu finden. Weller und Debschütz haben die Meßmethoden für raumaufauflösende, elektrische Leitfähigkeitsuntersuchungen und für die spektral induzierte Polarisierung weiterentwickelt.

Mit den elektrischen Leitfähigkeitsmessungen können Widerstandsanomalien als richtungsab-

hängige Wegsamkeiten erkannt werden. Mit der spektral induzierten Polarisierung besteht darüber hinaus die Möglichkeit, Unterschiede zwischen der Oberflächenleitfähigkeit – korrelierbar zum Anteil des immobilen Wassers und der Volumensleitfähigkeit – d.h. das freibewegliche Wasser zu identifizieren. Interpretationsmodelle zur Quantifizierung der Effekte sind jedoch erst in Entwicklung.

In den sedimentologischen und petrophysikalischen Arbeiten in der Erdölgeologie wurde von den Professoren Beckmann, Müller, Kulke und ihren Doktoranden Wittenhagen u.a. die geologisch-petrophysikalische Charakterisierung der in vielen Flutexperimenten verwendeten Modellsandsteine wie des Bentheimer Sandsteins aus dem Valendis und Obernkirchner Sandstein geleistet.

Am Institut für Erdöl- und Erdgasforschung wurde in der Abteilung für Erdöl/Erdgas von Meyn und Winter die methodische Weiterentwicklung von Kapillardruck-Bestimmungsmethoden nach dem dynamischen Verfahren betrieben und als kernschonendes Extraktionsverfahren für das Schichtwasser, die sogenannte 'Critical Point Drying Method' zur Präparation illithaltiger Rotliegendesandsteinkerne entwickelt. Nur mit diesem Verfahren ist es möglich, Kernmessungen auf einer verlässlichen Basis für die Übertragung auf in-situ-Bedingungen zu nutzen. In den Arbeitsgruppen am ITE wurden von den Doktoranden Weber, Borgmeier und später Alkan und Cinar die hydromechanische Kopplung der Permeabilitätsmessungen mit dem Spannungseinfluß unterschiedlicher Stoffgruppen von Kristallgestein über Salzstein bis hin zu den geringpermeablen Sandsteinen untersucht. Für die Permeabilitätsdilatanz konnten empirische Korrelationen zwischen Permeabilitätsveränderung und Spannungszustand erarbeitet werden. Von der Arbeitsgruppe Reitenbach und Cinar wurden die Endwerte der Zweiphasenflußpermeabilitäten von geringpermeablen Gesteinen bestimmt und mit

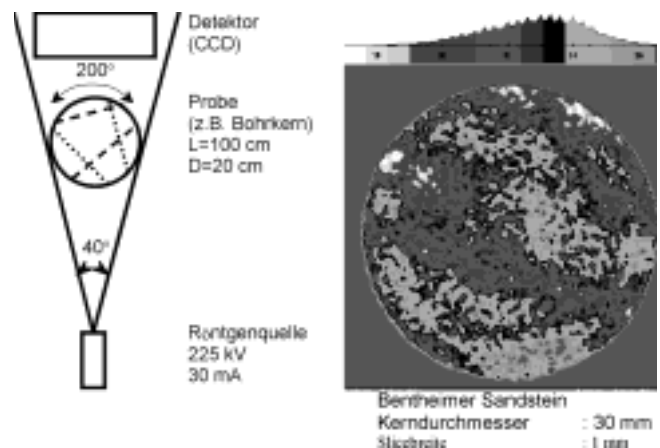


Bild 1: Prinzipdarstellung – Röntgenabsorptionstomographie (CT)

den Kapillardruckeigenschaften korreliert. Die dabei untersuchten Stoffklassen reichen von Rotliegend Sandstein, Oberkarbonsandstein bis hin zu den Barrierematerialien wie Steinsalz und Granit. Die Spannungseinflußuntersuchungen wurden in enger Zusammenarbeit mit der gesteinsmechanischen Arbeitsgruppe Lux, Hou und Diesterloh in einem gemeinsamen Projekt bearbeitet.

Trotz der weitgestreuten Beiträge zum Kenntnisstand über hydraulische Eigenschaften für spezielle Stoffklassen poröser Medien von Speicher- bis zu Barrieresteinen bleiben diese indirekt bestimmten Fluidtransportparameter als integrale Kennwerte für unterschiedlich große Gesteinsproben skalenabhängige Größen. Eine direkte Visualisierung und Interpretation von Fließprozessen in den mikroskopischen Hohlräumen kann mit diesen Methoden meist nicht erreicht werden. Zur Visualisierung von Porenraumstrukturen und Fließprozessen sind daher moderne, raumaufauflösende, zerstörungsfreie Prüfverfahren erforderlich, wie sie in der Röntgen- und NMR-Tomographie (NMR = nuclear magnetic resonance) verwendet werden.

Meßmethoden in der Gesteinstomographie

Eine raumaufauflösende – tomographische – Datenbestimmung existiert in einem weiten Bereich der geophysikalischen Meßmethoden wie z.B. in der Gruppe der elektrischen Potentialmeßver- ➤

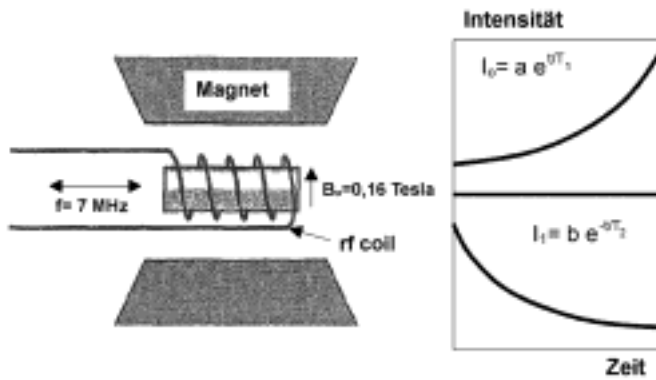


Bild 2: Prinzipdarstellung – Kernspinresonanzmessung

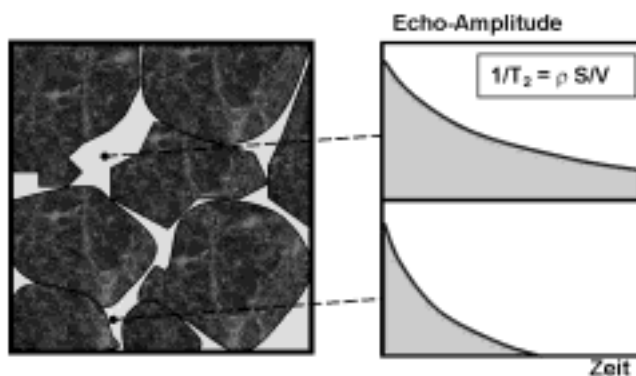


Bild 3: NMR-Relaxometrie

fahren, der akustischen Meßverfahren, der elektrisch induzierten Polarisation, der Röntgenstrahlenabsorption, der Kernspinresonanz oder der Radarverfahren. Die für die Messung an Bohrkernen und deren Inhaltsstoffen ausgewählten Meßverfahren sind die Röntgenabsorptionstomographie und die Kernspinresonanztomographie sowie die Kernspinrelaxometrie. Während die erste Verfahrensguppe im wesentlichen die Gesteinsdichten und damit den Hohlraumanteil und dessen Verteilung im Gestein erfaßt, dienen die beiden letzten Verfahren zur Bestimmung der Poreninhalte. Somit sind beide tomographischen Verfahrensguppen so aufeinander abgestimmt, daß Wegsamkeiten und Fluidbewegungen in Gesteinen untersucht werden können.

MESSPRINZIP DER RÖNTGENTOMOGRAPHIE

Bild 1 zeigt das Meßprinzip der Röntgentomographie. Eine Röntgenquelle mit einer Leistung von 225 kV und einer Stromstärke von 30 mA sendet einen fokussierten Röntgenstrahl im Winkel von ca. 40° auf einen diametral gegenüberliegenden Detektor. Im Strahlungsfeld der Röntgenröhre ist in horizontaler Anordnung die Probe platziert, die einen

Längsschnitt des Kernes ermöglichen. Mit entsprechend leistungsfähigen Rechenprogrammen können nach genauer Dichteichung zwei- bzw. dreidimensionale Dichte-Images und daraus die Porositätsverteilungen gemessen werden. Das in Bild 1 dargestellte Beispiel eines Scans zeigt die Porositätsverteilung des Bentheimer Sandsteins, der wegen seiner Gleichmäßigkeit von Porosität und Permeabilität weltweit als Modellsandstein für Flutversuche verwendet wurde. Auch hier kann man sehen, daß Homogenität nur eine Frage des Maßstabes ist. Die Anwendung unterschiedlicher Energieniveaus des Röntgenstrahls in Verbindung mit Subtraktionsverfahren erlaubt auch mit der Röntgenadsorptionsmethode weitergehende Untersuchungen über Porenfluidverteilungen und Fluidbewegungen.

KERNSPINRESONANZ-RELAXOMETRIE/TOMOGRAPHIE

In Bild 2 ist das Meßprinzip der NMR-Relaxometrie dargestellt. In einem permanenten Magnetfeld mit der Magnetstärke von 0,16 Tesla werden die Protonen des Wasserstoffs von Wassermolekülen, Methan bzw. Ölmolekülen polarisiert. Die Zeitkonstante für die Ausbildung dieser Polarisation T_1 , die longitudinale Relaxationszeitkonstante, kann gemessen werden und ebenso die gesamte Feldstärke des polarisierten Wasserstoffprotonensignals. Daraus kann der Gesamtwasseranteil und damit die Porosität bestimmt werden. Für die Relaxometrie ist ein 2. Schritt erforderlich, nämlich die Einstrahlung eines Radiofrequenzmagnetfeldes von 7 MHz, welches impulsartig zur Auslenkung der polarisierten Protonen führt. Nach dem Abschalten des Impulses relaxieren die Protonen in die ursprüngliche Ausgangslage zurück. Das Abklingen dieses Signals liefert, wie Bild 2 zeigt, eine zweite Zeitkonstante T_2 , die transversale Relaxationszeit. Da der Abklingeffekt im wesentlichen von der Beweglichkeit der Protonen im Porenraum abhängig ist, können mehrere Informationen aus der Abklingkurve abgeleitet werden:

Die reziproke Abklingzeitkonstante T_2 ist direkt proportional der Oberflächenbindung der Protonen an der Gesteinsoberfläche und dem Verhältnis von spezifischer Gesteinsoberfläche zum Gesteinsporenvolumen. Da jeder Frequenzbereich des RF-Feldes die Protonen unterschiedlich auslenkt, werden Spin-Echos mit unterschiedlicher Energie emittiert und registriert. Ihre Zeitkonstanten der transversalen Relaxation ergeben daher eine Spin-Echoenergieverteilung zugehörig zu den jeweiligen Relaxationszeiten, die eine Differenzierung zwischen freibeweglichen und gebundenen Protonen ►

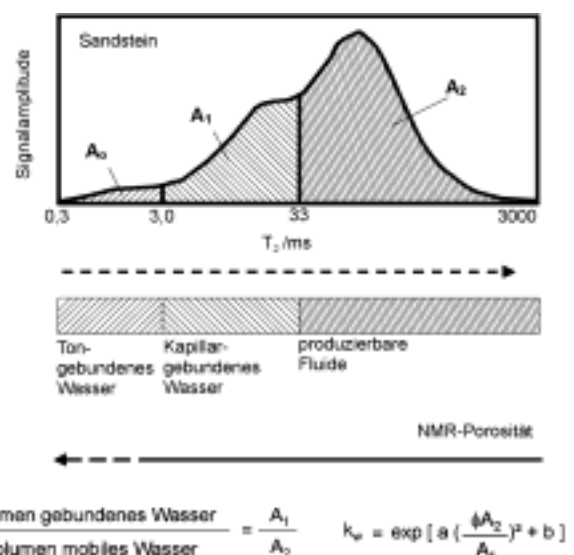


Bild 4: Auswerteverfahren für Sandsteine

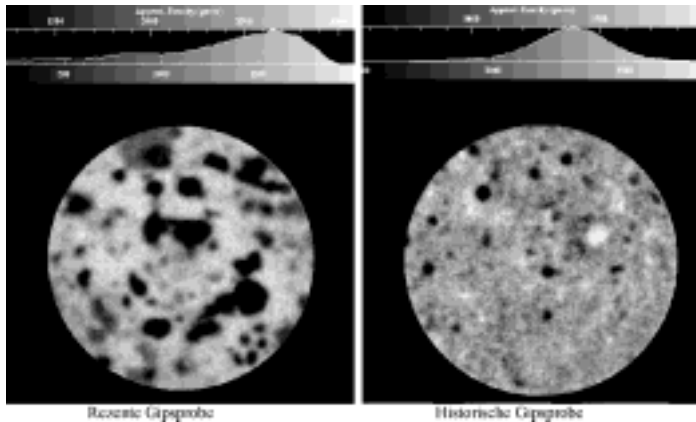


Bild 5: Röntgenabsorptionsanalyse von zwei Gipsproben

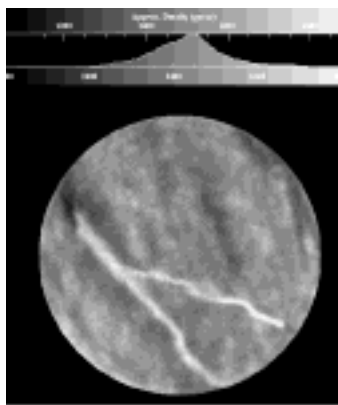


Bild 6: Klufterkennung in Kristalline Gesteinsproben

erlaubt. Natürlich müssen für die Auswertung der Relaxometrie gesteinsabhängige Standards bestimmt werden, die wie in **Bild 3** dargestellt, die Grenzen zwischen freibeweglichem, kapillargebundenem und physikalisch gebundenem Wasser aufzeigen. Für Sandsteine liegen diese Grenzen beispielsweise bei 33 ms bzw. 3 ms, wie **Bild 4** zeigt. Für andere Gesteinsklassen wie Sande, Siltstein, Tonstein oder Karbonate müssen diese Standards jeweils separat bestimmt werden. Da das Verhältnis aus innerer Gesteinsoberfläche und Porenvolumen eine maßgebliche Korrelationsgröße für die Wegsamkeit innerhalb eines Gesteins darstellen (vgl. Kozeny-Karman) kann aus den Teilflächen A1 und A2 für das gebundene und freie Wasser die Wasserpermeabilität abgeleitet werden, wie es in **Bild 4** dargestellt ist.

Einsatzmöglichkeiten der Gesteinstomographie

Von der Probengröße her und dem Auflösungsvermögen dient die Röntgenabsorptionsmeßmethode in erster Linie zur Untersuchung der porösen Matrixstruktur – d.h. der Feststellung von Porositätsverteilung und von Klüften. Von besonderem Vorteil ist dabei die Aufrechterhaltung des intakten Gesteinskörpers.

Beispiel 1: Untersuchungen zur Struktur von erhärteten Gipsmassen

Gips als Baustoff und als Werkstoff ist bereits seit dem frühen Mittelalter bekannt. Er wurde wegen seiner leichten Handhabbarkeit auch in der bildenden Kunst eingesetzt. Die Haltbarkeit und Formbeständigkeit des Gipses hängt von seiner inneren Struktur ab. Es ist bekannt, daß für die Her-

stellung von Gipskörpern Rezepturen aus Rohgips + Zuschläge + Wasser verwendet wurden, um eine besonders hohe und ausgeglichene Dichte des Gipskörpers zu erzielen. Erstaunlicherweise war die Qualität der ausgehärteten Gipsmassen historischer Gipsproben oft deutlich höher als bei rezent hergestellte Gipsproben, wie es **Bild 5** aus einem Untersuchungsbericht des Instituts für Mineralogie, Prof. Follner, zeigt.

Beispiel 2: Kluftvisualisierung in Kristalline Gesteinsproben

Für die Langzeitsicherheit von Endlagerstandorten für radioaktive Abfallstoffe in Kristalline Gestein sind Störungen und Kluftzonen von großer Bedeutung. Während Makrokluftbeispielweise durch seismische Reflexionsmessungen erkannt werden können, sind Mikrokluft im Zentimeter- bis Dezimeterbereich nur schwer durch seismische Methoden zur erkennen. Eine Lösungsmöglichkeit bilden hier die geoelektrischen Meßverfahren und die Röntgentomographie. Da Mikrorisse bzw. Makrorisse im Zentimeterbereich mit Kluftweiten von 1 bis 10 μm unterhalb der Auflösungsgrenze der Röntgentomographie liegen, wurde eine Kluftimprägnation mittels Injektion einer Kalium-Jodid-Lösung vorgenommen, die durch ihre hohe Absorptivität für Röntgenstrahlung auch feine Rißstrukturen im Mikrometerbereich durch eine diffuse Grenzschicht zur Gesteinsmatrix sichtbar macht. In **Bild 6** sind Makrokluft einer Granitprobe aus dem Feldlabor in Asbö in Schweden aus einem Forschungsprojekt des Instituts

für Mineralogie, Abt. Anorganische Geochemie, von Prof. Mengel dargestellt.

Beispiel 3: NMR-Relaxometrie zur Charakterisierung von Modellgesteinen

Modellgesteine werden deshalb so bezeichnet, weil sie reproduzierbare Eigenschaften innerhalb einer bestimmten Porositäts-/Permeabilitätsklasse aufweisen und in Folge ihrer einheitlichen Zusammensetzung für Flutexperimente im Porenraum dieser Gesteine von vielen Arbeitsgruppen aus Vergleichsgründen herangezogen werden. Zwei dieser Modellgesteine sind der Bentheimer Sandstein, der für die hochporösen, permeablen Sandsteintypen (Permeabilität 1 bis 2 Darcy (D), Porosität ca. 24%) mit einer fast 98%igen Zusammensetzung aus Quarz und weniger als 2% Tonanteilen als Prototyp dient, sowie der Obernkirchner Sandstein, dessen kleinere Porenradienverteilung bei ähnlicher mineralogischer Zusammensetzung zu einer deutlich kleineren Permeabilität von rd. 10 mD und einer Porosität von 17% führt. Diesen beiden Modellsandsteinen sind in **Bild 7** ein Siltstein und ein sehr dichter Tonstein gegenübergestellt. Unter der vereinfachenden Annahme, daß die Relaxationszeitgrenze von rd. 33 ms sowohl für die Sandsteine als auch für den Siltstein gilt, können aus den unterschiedlichen Spektren die Anteile des gebundenen und des freien Wassers sowie die daraus abzuleitenden Permeabilitäten beurteilt werden. Aus dem Flächenverhältnis der beiden Peaks des Bentheimer Sandsteins folgt eine rechnerische Aufteilung von rd. 90% beweglichem und 10% kapillargebundenem Wasser. Dies entspricht auch ziemlich genau den aus hydraulischen Messungen bestimmten nichtreduzierbaren Wassersättigungsanteilen von rd. 10%. Für den Obernkirchner Sandstein folgt hingegen aus der Flächendarstellung ein kapillargebundener Wasseranteil von rd. 25%, während 75% des Wassers mobil sind. Ein sehr kleiner Anteil des Wassers scheint hier auch an Tone gebunden zu sein. ▶

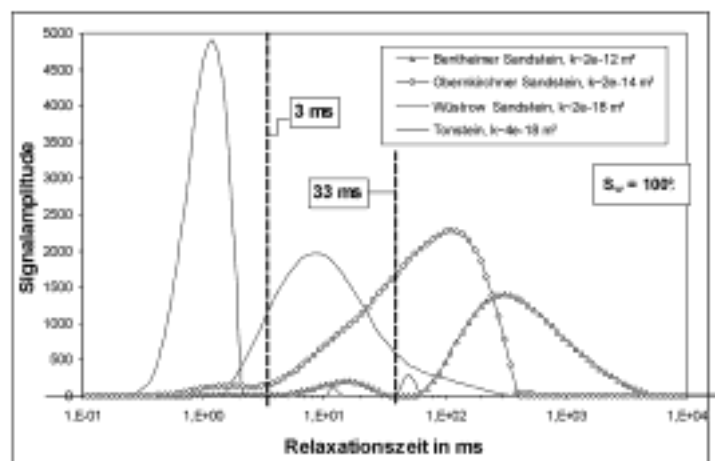


Bild 7: Modellgesteinscharakterisierung mittels NMR-Relaxometrie

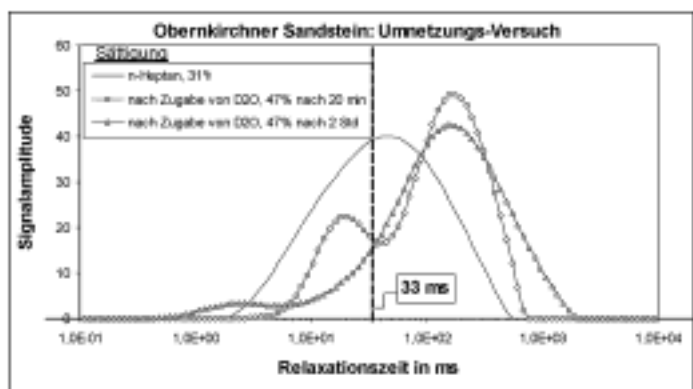


Bild 8: Fluidverteilung von benetzenden und nicht-benetzenden Phasen an einem Modellgestein

Für den Tonstein mit einer um 4 bis 6 Zehnerpotenzen kleineren Permeabilität als der Obernkirchner bzw. Bentheimer Sandstein liegt das Relaxationszentrum links von der Tongrenze; d.h. mehr als 90% des Wassers sind an Ton gebunden, während nur zwei kleine Peaks im Bereich des kapillargebundenen und freien Wassers erkennbar werden. Der freie Wasseranteil dürfte daher nur wenige Prozente betragen und erklärt damit auch die sehr kleine Wasserpermeabilität von 4 μD . Der Siltstein mit der gleichen Permeabilitätsklasse weist hingegen einen sehr hohen Anteil von kapillargebundenem Wasser von rd. 80% und weniger als 20% freiem Wasser auf. Diese Meßergebnisse sind einerseits für die quantitative Auswertung der Permeabilitäten geeignet, stellen darüber hinaus aber einen sehr wichtigen Interpretationsfaktor für die gemessenen hydraulischen Permeabilitätskennwerte dar, deren Plausibilität auf der Basis dieser NMR-Relaxometrie und der Mineralanalysen bestätigt werden kann.

Beispiel 4:

Fluidverteilung von benetzender und nichtbenetzender Phase an einem Modellgestein

Bild 8 zeigt ein Experiment, bei dem ein Obernkirchner Sandsteinkern zunächst mit Heptan als Modellkohlenwasserstoff in einem gasgefüllten Porenraum bis zu einem Wert von 31% gesättigt wurde. Das Spektrum in Bild 8 zeigt, daß etwa die Hälfte des Heptanvolumens in die feinen Poren eindringt und die andere Hälfte in den größeren Poren als bewegliche Phase vorhanden bleibt. In der nächsten Stufe des Experiments wurden 47% des Porenvolumens zusätzlich mit D_2O , das einerseits in seinen physikochemischen Eigenschaften dem normalen Wasser sehr ähnlich ist, aber andererseits nicht NMR-aktiv ist, aufgesättigt, so daß der Sättigungszustand der flüssigen Phasen bei 78% lag. Im Abstand von 20 Minuten und von 2 Stunden wurden NMR-Relaxationsmessungen durchgeführt.

Die erste Messung zeigt bereits, daß nach kurzer Zeit ein Teil des in den feinen Poren vertretenen Heptans durch das Wasser ersetzt wird, da die Saugspannung für das benetzende Medium einen Austauschprozeß auslöst. Nach 2 Stunden scheint dieser Austauschprozeß fast vollendet zu sein, da nun mehr als 80% des Heptans in die großen Poren

abgewandert ist und das Wasser seine Position in den feinen Poren einnimmt. Solche Benetzungs- und Umnetzungsexperimente bilden eine gute Möglichkeit, um die für den Fließprozeß enorm wichtigen Benetzungseigenschaften an ungestörten Gesteinsproben messen zu können.

Dienstleistungen für die Industrie können insbesondere auf dem Gebiet der Datenerfassung und Datenvalidierung für Speichergesteine in sogenannten Gesteinskatalogen („Rock-Katalog“) erwartet werden, wo die NMR-Relaxometrie ein sehr erfolgreiches Hilfsmittel zur Diagnose bzw. Identifizierung von Fehlmessungen von Permeabilitäten sowie der kritischen Restphasensättigungen und Endwerte und der relativen Permeabilitäten darstellt. Hier wird eine enge Zusammenarbeit mit der Industrie angestrebt.

LITERATUR

G. Pusch, V. Reitenbach, Y. Cinar
Bestimmung der Mobilität und Sättigungsverteilung von wässrigen Fluiden durch „Low Frequency“ Kernspinresonanzmessungen (NMR) und hydraulische Messungen in mikroporösen Gesteinen der kontinentalen Kruste (DFG 59-11), 2000

B. J. Stambaugh
NMR Tools Afford New Logging Choices, Oil&Gas Journal, Apr. 17, 2000, pp. 45-52.

G. Pusch, V. Reitenbach, J. R. Weber et al.
The Formation and Migration of Thermogenic Gases and Condensates in Carrier/Reservoir Systems. JOULE II Programm der EU, Contract JOU 2-CT93-0341, Final Report, 1996

Y. Cinar
Experimental Investigation on the Pore Structure and Fluid Flow in Artificially-Compacted Salt Granulates. Dissertation, Clausthal-Zellerfeld, 2000

G. Pusch, G. Reik, R. Meyn
Einfluß der Kluftung auf Stofftransport und Retentionsprozesse in diagenetisch verfestigten Tonsteinen (DFG 59-10-2), 2000

S. Wittenhagen
Sedimentologisch-petrographische Untersuchung des Bentheimer Sandsteins im Erdölfeld Bramberge/Emsland. Dissertation, Clausthal-Zellerfeld, 1980

M. Jonas
Überlegungen graphentheoretisch-kombinatorischer Natur zur Berechnung mittlerer wahrscheinlicher Kapillardruckkurven von Netzwerkmodellen und die Lösung des radiellen Inversionsproblems. Dissertation, Clausthal-Zellerfeld, 1988

H. Pape, L. Riepe, J. R. Schopper
Conversion between Specific Surface Measurements of Different Resolution Power with the Aid of Pigeon-Hole Model Theory. Veröffentlicht: J. M. Haynes, P. Rossi-Doria (eds) Principles and Applications of Pore Structural Characterization.

Erfahrungen im Betrieb der Anlage und Ausblick

Obwohl die Zeitdauer für den Betrieb der Anlage in Clausthal mit rd. 1 1/2 Jahren noch zu kurz ist, um über umfangreiche methodische und Stoffkompetenzen zu verfügen, wurden die ersten Grundlagen für Forschungsarbeiten in der Gesteinstomographie im Rahmen von zwei DFG-Projekten und in einem Promotionsvorhaben, das von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) gesponsert wird, gelegt. Der Schwerpunkt der Untersuchungen liegt hier auf dem Gebiet der Kernspin-Relaxometrie, mit der das Wasserbindungsvermögen von Tonen in Tonstein bzw. in vulkanischen Metapeliten untersucht und mit den durch Zentrifugmessungen einstellbaren, nicht-reduzierbaren Wassersättigungen korreliert wurde. Die Meßergebnisse stützen die nach hydraulischen Methoden ermittelten Kenngrößen der abgeleiteten Permeabilitäten. Weitere Erfahrungen konnten hinsichtlich der Bindung von Salzlaugen in Steinsalzproben und in diesem Zusammenhang mit der Frage der Verdrängbarkeit von Wasser entlang von Gefügegrenzen von Salzkristallen gewonnen werden.

Wichtige Beiträge wird die Kernspin-Relaxometrie aber auch im Bereich der Erdgashydratforschung liefern können. Nur mit dieser Methode wird es möglich sein, exakt kinetische Kenngrößen der Hydratdissoziation zu Methan und Wasser unter in-situ-Bedingungen zu gewinnen. Ebenfalls in einem vom BMBF geförderten Vorhaben wird die Salzausscheidung in Geothermie-Prozessen und damit die Reduzierung der Permeabilität untersucht. Auf unterschiedliche Ursachen zurückzuführen, aber mit der gleichen Auswirkung verbunden, ist die Ausfällung von Steinsalzkristallen (Halitscale) in der Umgebung von Erdgasspeicherbohrungen bzw. Erdgasproduktionsbohrungen. Auch hier wird erwartet, daß die NMR- und die Röntgentomographie gleichermaßen Beiträge leisten können. In der Röntgentomographie bestehen neben den reinen Dichtebestimmungen (Hohlraumanteil) die erweiterten Möglichkeiten auf der Basis von sogenannten Dual-Energy-Meßverfahren mit unterschiedlichen Anregungsenergien, Unterschiede zwischen Porenraumsättigungen und der Gesteinsmatrix zu identifizieren.

J. R. Schopper

Theoretische Untersuchung elektrischer, hydraulischer und anderer physikalischer Eigenschaften poröser Gesteine mit Hilfe statistischer Netzwerkmodelle. Habilitation, Clausthal-Zellerfeld 1972.

M. Borgmeier

Untersuchungen des belastungsabhängigen Durchlässigkeitsverhaltens von Salzgestein für Gase unter besonderer Berücksichtigung der Porenraumbelastung. Dissertation, Clausthal-Zellerfeld, 1993

J. Weber

Untersuchungen zur Permeabilitätsdilatanz kristalliner Gesteine unter deviatorischer Belastung. Dissertation, Clausthal-Zellerfeld, 1994

I. Winter, V. Meyn

Die simultane Bestimmung von kapillaren und

elektrischen Speichergesteinseigenschaften mit der Continuous Injection Methode, DGMK-Forschungsbericht 494-2, 1997

K.-H. Lux, Z. Hou, U. Düsterloh

Neue Aspekte zum Tragverhalten von Salzkavernen und zu ihrem geotechnischen Sicherheitsnachweis, Teil 1: Theoretische Ansätze. Erdöl Erdgas Kohle, Heft 3, 1999

F. Börner, J. R. Schopper, A. Weller

Evaluation of Transport and Storage Properties in the Soil and Groundwater Zone from Induced Polarization Measurements. Geophysical Prospecting 44, 1996

A. Weller, M. Seichter, A. Kampke

Induced-Polarization Modelling Using Complex Electrical Conductivities. Geophysical Journal

International 127, 1996

W. Debschütz

Hydraulische Untersuchungen an Sediment- und Kristallingesteinen unter variablen hydro- und lithostatischen Druckbedingungen: Trennung strömungscharakterisierender Kenngrößen und Korrelation mit anderen petrophysikalischen Größen. Dissertation, Clausthal-Zellerfeld 1995

Prof. Dr.-Ing. Günter Pusch

Dr.-Ing. Rüdiger Meyn

Institut für Erdöl- und Erdgastechnik

Agricolastraße 10

38678 Clausthal-Zellerfeld

Tel.: 053 23/72-26 18 (Pusch)

053 23/72-26 15 (Meyn)

Fax: 053 23/72-31 46



Ein Großteil unserer Zeit verbringen wir in der Warteschlange: an der Kasse im Supermarkt, im Wartezimmer beim Arzt oder im Verkehrsstau auf dem Weg zur Arbeit. Jeder von uns kennt das Unbehagen, in einer langen Warteschlange zu stehen. Oftmals läßt sich nicht einmal abschätzen, wie lange man noch ausharren muß und ob es sich überhaupt lohnt abzuwarten.

Abgesehen von der psychischen Beeinträchtigung, die von einer langen Warteschlange ausgeht, sind Warteschlangen auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht nicht wünschenswert. Denn die Zeit, die man in der Warteschlange zubringt, ist unproduktive Zeit, die weder den Kunden noch dem Betreiber des Systems zugute kommt. Den wirtschaftlichen Einfluß von Warteschlangen kann man am besten am Beispiel der Produktion verdeutlichen. Lange Durchlaufzeiten durch die Produktion haben zur Folge, daß man neue Produkte nicht schnell genug auf den Markt bringen kann und der Konkurrenz das Feld überlassen muß. Da lange Durchlaufzeiten mit hohen Beständen korreliert sind, entstehen durch die auf Bearbeitung wartenden Halbfertigfabrikate außerdem hohe Kapitalbindungskosten, die sich negativ auf das Betriebsergebnis auswirken.

Das Phänomen des Wartens wird seit fast einem Jahrhundert wissenschaftlich erforscht. Bereits 1917 publizierte der dänische Ingenieur A.K. Erlang, der bei einer Kopenhagener Telefongesellschaft beschäftigt war, eine mathematische Formel zur Dimensionierung von Fernsprechvermittlungstellen. Die Fachleute erzählen sich, daß gerade diejenigen Länder, die Mitte des vergangenen Jahrhunderts über die schlechtesten Telefonsysteme verfügten, zumindest die besten Mathematiker auf dem Gebiet der Warteschlangentheorie hervorgebracht hätten. Mit dem Aufkommen der Datenverarbeitung werden diese Methoden auch zur Konzeption von Rechen-, Produktions- und Logistiksystemen verwendet.

Warum steht man immer in der falschen Schlange?

Mathematischer Hintergrund zu einem alltäglichen Problem

Von Thomas Hanschke

Ziel der Analysen ist es, bereits im Vorfeld der Planung Engpässe und Schwachstellen zu erkennen. Inzwischen sind mehrere tausend wissenschaftliche Publikationen über Warteschlangenprobleme erschienen, die sich auf die unterschiedlichsten Bereiche unseres täglichen Lebens beziehen. Angesichts einer so großen Zahl gesicherter Erkenntnisse läßt sich kaum erklären, warum wir heute noch so oft in der Warteschlange stehen ...

Das Grundmodell in einer Warteschlange

Die Warteschlangentheorie bedient sich zur Beschreibung von Bedienungssystemen eines einfachen Grundmodells. Es besteht aus dem sogenannten Bedienungsschalter, der über ein oder mehrere parallel arbeitende gleichartige Maschinen bzw. Arbeitsplätze verfügt, und aus einem Warteraum. Die Kunden treffen einzeln und zu zufälligen Zeitpunkten vor dem Bedienungsgesamt

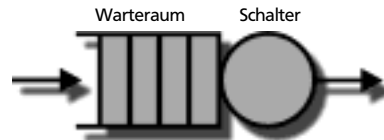


Bild 1: Das Grundmodell der Warteschlangentheorie

ein. Ein neu ankommender Kunde wird bedient, sofern mindestens eines der Bedienungsgeräte frei ist, andernfalls muß er sich in die Warteschlange einreihen.

Die Begriffe Kunde und Schalter können in der Praxis unterschiedliche Bedeutung haben: Fahrzeuge, die an einer Ampel warten; Computerprogramme, die in einem Rechnernetz zirkulieren; Telefonanrufe, die an einer Vermittlungsstelle einfallen; Werkstücke, die von einer Maschine bearbeitet werden; Patienten, die in einer Arztpraxis auf ihre Behandlung warten, usw.

Das Grundmodell kann auf vielfältige Weise variiert werden:

- Die Kunden werden nicht einzeln, sondern gruppenweise bedient (Wartesysteme mit Gruppenbedienung).
Anwendung: Losfertigung in einem Produktionsbetrieb
- Einige Kunden verlassen das System, bevor sie bedient worden sind (Wartesysteme mit Zeitbeschränkungen).
Anwendung: Lagerhaltung von verderblicher Ware
- Nicht alle Bedienungsgeräte stehen jedem Kunden zur Verfügung (Bedienungssysteme mit eingeschränkter Erreichbarkeit).

Anwendung: Fertigungsstraßen mit dedizierten Maschinen, Koppelanordnungen in einem Fernsprechnetz

- Einige Kunden scheuen sich, in das Bedienungssystem einzutreten, weil ihnen die Warteschlange zu lang erscheint (Wartesysteme mit ungeduldigen Kunden).

Anwendung: übliches Kundenverhalten an einem Post-, Bank- oder Fahrkartenschalter

- Ein Kunde mit höherer Priorität verdrängt einen Kunden niedrigerer Priorität aus dem Bedienungssystem (Bedienungssysteme mit Prioritätssteuerung).

Anwendung: Expres-Los-Steuerung in einem Fertigungsprozeß

- Ein Kunde, der bei seiner Ankunft nicht sofort bedient werden kann, geht verloren (Verlustsysteme).

Anwendung: Telefonate in einem Fernsprechnetz.

Der Strom der ankommenden Forderungen wird durch einen sogenannten Erneuerungsprozeß beschrieben. Dazu denken wir uns alle Forderungen in der Reihenfolge ihrer Ankünfte durchnummeriert. Die Zeitspanne I_n zwischen der Ankunft des $(n-1)$ -ten und des n -ten Kunden wird als Zwischenankunftszeit bezeichnet. Von den Zufallsgrößen I_n ($n = 1, 2, \dots$) wird vorausgesetzt, daß sie stochastisch unabhängig und identisch verteilt sind mit dem Erwartungswert $E[I]$ und dem Variationskoeffizienten c_I . Der Kehrwert $\lambda = 1/E[I]$ heißt Ankunftsrate und gibt an, wieviele Kunden im Durchschnitt pro Zeiteinheit in das System einfallen.

Die Bedienungszeiten S_n ($n = 1, 2, \dots$) der aufeinanderfolgenden Kunden werden ebenfalls als stochastisch unabhängige und identisch verteilte Zufallsgrößen aufgefaßt. Für den zugehörigen Erwartungswert und den zugehörigen Variationskoeffizienten verwenden wir die Symbole $E[S]$ und c_S . Der Kehrwert $\mu = 1/E[S]$ heißt Bedienungsrate und gibt an, wieviele Kunden im Durchschnitt pro Zeiteinheit von dem Bedienungssystem abgefertigt werden können. Sind mehrere parallele und gleichartige Bedienungsgeräte vorhanden, erhöht sich die Bedienungsrate entsprechend der Anzahl der Geräte. Die Bedienungsregel legt fest, in welcher Reihenfolge die wartenden Kunden abgefertigt werden sollen. Folgende Regeln und Bezeichnungen sind gebräuchlich:

FIFO (FCFS) First In, First Out (First Come, First Served). Die Bedienung erfolgt in der Reihenfolge der Ankünfte.

LIFO (LCFS) Last In, First Out (Last Come, First Served). Die Bedienung erfolgt in umgekehrter Reihenfolge der Ankünfte.

SIRO Selection In Random Order. Der nächste Kunde wird zufällig ausgewählt.

Non-preemptive priority Relative Priorität. Manche Kunden werden gegenüber anderen Kunden vorrangig behandelt.

Preemptive priority

RR

Der laufende Bedienungsprozeß wird jedoch nicht unterbrochen.

Absolute Priorität. Besitzt der neu ankommende Kunde gegenüber den anderen Kunden im System eine höhere Priorität, so wird der laufende Bedienungsprozeß unterbrochen und mit der neuen Forderung fortgesetzt. Die alte Forderung wird zurückgestellt.

Round Robin. Jeder Kunde kann den Bediener jeweils nur für ein bestimmtes Zeitintervall in Anspruch nehmen. Kunden, deren Abfertigung mehr Zeit benötigt, müssen sich deshalb mehrmals hintereinander in die Warteschlange einreihen.

Zur symbolischen Kennzeichnung von Bedienungssystemen haben D.G. Kendall und B.W. Gnedenko die Notation

$A/B/c/N$

eingeführt. Die Buchstaben A und B markieren hierbei den Verteilungstyp der Zwischenankunftszeiten und der Bedienungszeiten. Der Buchstabe c steht für die Anzahl der parallelen Bediener und N bezeichnet die Kapazität des Warteraums. Für den Verteilungstyp sind folgende Abkürzungen gebräuchlich:

D Deterministische Verteilung
M Exponentialverteilung
 E_k Erlang-Verteilung mit Parameter k ($k = 1, 2, \dots$)

H_k Hyperexponentialverteilung mit Parameter k ($k = 1, 2, \dots$)

PH Phasentyp-Verteilung

G Allgemeine Verteilung

Beispiel: Die Notation $M/G/3/5$ kennzeichnet ein Bedienungssystem mit exponentiell verteilten Zwischenankunftszeiten, beliebig verteilten Bedienungszeiten, drei parallelen Bedienern und einem Warteraum, in dem maximal 5 Kunden warten können.

Leistungsgrößen

Die Leistungsbewertung von Bedienungssystemen erfolgt auf der Basis folgender Prozesse:

- Die Länge der Warteschlange $(Q_t)_{t \geq 0}$. Dieser Prozeß gibt an, wieviele Kunden sich zur Zeit t in der Warteschlange (vor dem Schalter) aufhalten.
- Der Prozeß der aufeinanderfolgenden Wartezeiten $(W_n)_{n \geq 0}$. Die Zufallsvariable W_n bezeichnet die Zeit, die der n-te Kunde in der Warteschlange verweilt, ehe er bedient wird.

Zur Berechnung der Kenngrößen können verschiedene Methoden der Theorie der stochastischen Prozesse herangezogen werden. Die Eignung einer Methode hängt sehr stark davon ab, welche Verteilungstypen für die Zwischenankunfts- und Bedienungszeiten zugrundegelegt werden und ob zeitabhängige oder stationäre Größen berechnet werden sollen. Schon das Grundmodell der Warteschlangentheorie ist so kompliziert, daß es unter allgemeinen Verteilungsannahmen nicht exakt gelöst werden ►

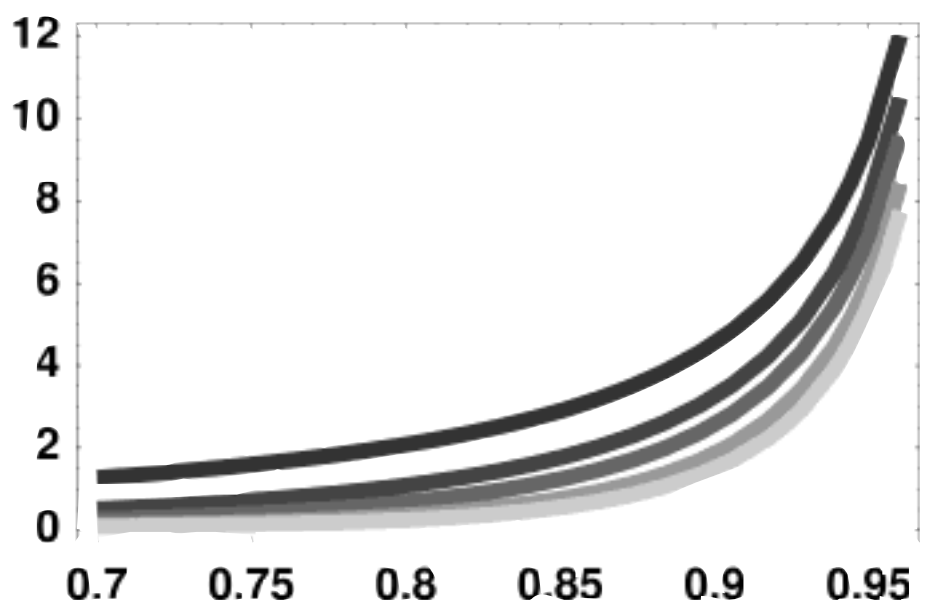


Bild 2: Die mittlere Warteschlangenlänge in Abhängigkeit von der Auslastung und der Variabilität des Systems.

Untere Kurve: geringe Variabilität. Obere Kurve: hohe Variabilität.

kann. Es existieren allerdings Näherungsformeln, die sich in der Praxis recht gut bewährt haben und die die stochastische Funktionsweise von Bedienungssystemen transparent machen. Nach einer Formel von Allen-Cunnen gilt für die mittlere Warteschlangenlänge im stationären Fall:

$$E(Q) \approx \frac{\rho}{1-\rho} \cdot \sqrt{\rho^{c+1}} \cdot \frac{c_i^2 + c_s^2}{2}.$$

Hierbei bedeuten ρ die Auslastung des Systems und c_i^2 sowie c_s^2 die quadrierten Variationskoeffizienten der Zwischenankunfts- und Bedienungszeiten. Die Formel lehrt uns, daß die Warteschlange umso länger ist, je größer die Auslastung des Systems und die Variationskoeffizienten sind (**Bild 2**). Um eine kurze Warteschlange zu bekommen, muß man folglich genügend Kapazität bereitstellen oder die Variabilität des Systems gering halten.

Die mittlere Wartezeit im stationären Fall erhält man mit Hilfe der Formel von Little:

$$E(W) = \frac{E(Q)}{\lambda} \approx \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{\rho}{1-\rho} \cdot \sqrt{\rho^{c+1}} \cdot \frac{c_i^2 + c_s^2}{2},$$

wobei λ die Inputrate des Systems bedeutet.

Die kurze oder die lange Warteschlange?

Nachdem wir die Grundbegriffe der Warteschlangentheorie erläutert haben, sind wir in der Lage, die in der Überschrift genannte Frage zu behandeln. Stehen wie im Supermarkt oder bei der Bundesbahn mehrere Kassen zur Auswahl, so neigt man dazu, diejenige mit der kürzesten Warteschlange auszuwählen. Doch offensichtlich garantiert diese Strategie nicht, daß man auch schneller abgefertigt wird. So entsteht der Eindruck, in der falschen Warteschlange zu stehen. Da die Arbeitsaufträge der einzelnen Kunden zufällig schwanken, könnte es sein, daß in der langen Warteschlange zufällig viele kleine Aufträge akkumuliert sind, während in der kurzen Warteschlange große Aufträge vorherrschen.

Als Beispiel betrachten wir zwei gleichartige M/M/1/∞-Bedienungssysteme. In dem einen warten zum Zeitpunkt unserer Ankunft m , in dem anderen n Kunden, wobei wir annehmen wollen, daß m kleiner oder gleich n ist. Die Wartezeit in der Schlange entspricht allgemein der Summe der Bedienungszeiten der Vorgänger, wobei mathematisch vereinfachend hinzukommt, daß die Restbedienungszeit des sich zum Zeitpunkt unserer Ankunft gerade im Bediener befindlichen Kunden aufgrund der sogenannten Gedächtnislosigkeit der Exponentialverteilung ebenfalls exponentiell verteilt ist mit dem Parameter μ . Aus der Wahrscheinlichkeitstheorie ist bekannt, daß die Summe von m unabhängigen mit dem Parameter μ exponentiell verteilten Zufallsgrößen Erlang-verteilt ist mit den Parametern μ und m :

$$P(W_{(m)} > t) = e^{-\mu t} \cdot \sum_{k=0}^{m-1} \frac{(\mu t)^k}{k!} \quad (t \geq 0).$$

Damit läuft unsere Fragestellung auf den Ver-

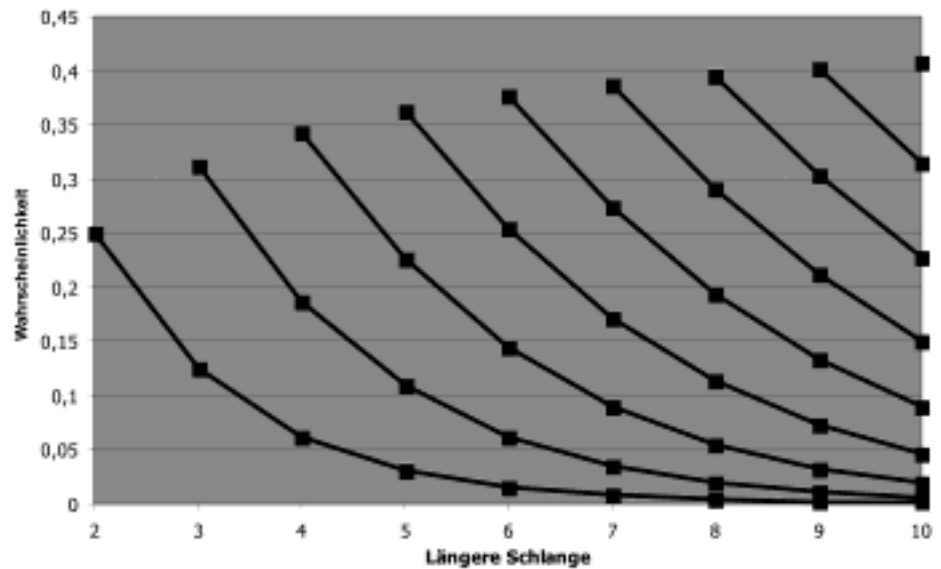


Bild 3: Die Wahrscheinlichkeit $P(W_{(m)} > W_{(n)})$ für verschiedene Werte m und n .
Die Kurven beziehen sich von links nach rechts auf die Werte $m = 1, 2, 3, \dots, 9$.

gleich zweier Erlang-verteilter Zufallsgrößen hinaus, wobei die eine Erlang-verteilt ist mit den Parametern μ und m und die andere Erlang-verteilt ist mit den Parametern μ und n . Gefragt ist also nach der Wahrscheinlichkeit, daß $W_{(m)}$ größer ist als $W_{(n)}$, in Zeichen: $P(W_{(m)} > W_{(n)})$. Diese Wahrscheinlichkeit kann mit dem Instrumentarium der bedingten Wahrscheinlichkeit ausgerechnet werden. Indem man die Gesetzmäßigkeiten der Erlang-Verteilung ausnutzt, bekommt man:

$$P(W_{(m)} > W_{(n)}) = \int_0^{\infty} e^{-\mu t} \cdot \sum_{k=0}^{m-1} \frac{(\mu t)^k}{k!} \cdot \frac{\mu^n \cdot t^{n-1}}{(n-1)!} e^{-\mu t} dt = \sum_{k=0}^{m-1} \binom{n+k-1}{k} \left(\frac{1}{2}\right)^{n+k}.$$

Diese Formel haben wir für verschiedene Parameter m und n ausgewertet (**Bild 3**). Man kommt zu dem Ergebnis, daß die Wahrscheinlichkeit, in der kürzeren Schlange länger ausharren zu müssen als in der längeren, sich deutlich von Null unterscheidet.

Optimierung

Für alle günstiger ist es, in einer gemeinsamen Warteschlange zu warten. Nicht nur, daß sich jetzt die Frage nach der falschen Schlange gar nicht erst stellt, es ergibt sich auch eine deutlich kürzere Wartezeit. Um diesen Sachverhalt zu bestätigen, muß man nur die mittlere Wartezeit des Mehrbediener-Systems mit der mittleren Wartezeit des äquivalenten Systems von Einbediener-Systemen ($c = 1$) vergleichen. Dabei ist lediglich zu beachten, daß jeder Strang nur mit dem c -ten Teil des Inputstroms belastet wird. Als Verhältniszahl bekommt man:

$$F = \frac{\sqrt{\rho^{c+1}}}{\rho} \cdot \frac{1}{c}.$$

Da die Auslastung stets kleiner als Eins ist, läßt sich die Wartezeit folglich mindestens um den Faktor c reduzieren. Im Fall von zwei Warteschlangen müßte man also nur die halbe Zeit in der Warteschlange verbringen.

Übrigens fast zeitgleich mit einer Wissenschaftssendung des WDR, in der wir über diese Fragestellungen berichten durften, hat die Deutsche Bahn AG die Warteordnung in ihren Reisezentren geändert. Sie läßt ihre Kunden jetzt nicht mehr in separaten Warteschlangen sondern genauso wie am Flughafen in einer gemeinsamen Warteschlange zusammenlaufen. Dieses Beispiel zeigt allerdings auch, wie mühsam und langwierig der Prozeß der Umsetzung wissenschaftlicher Resultate in die Praxis ist.

Ausblick

Die moderne Mathematik ist inzwischen in der Lage, nicht nur einzelne Warteschlangensysteme, sondern auch Netzwerke von vielen hundert Knoten, wie sie in der industriellen Produktion oder der Telekommunikation vorkommen, zu rechnen. Auf der Basis dieser Methoden hat die Arbeitsgruppe Stochastische Modelle in den Ingenieurwissenschaften an der TU Clausthal Software-Lösungen entwickelt, die bereits bei der Dillinger Hütte AG und der IBM Storage Systems Division im Einsatz sind.

Prof. Dr. Thomas Hanschke
Institut für Mathematik
Erzstraße 1
38678 Clausthal-Zellerfeld
Tel.: 05323/72-2401
Fax: 05323/72-2304

Kennen Sie Hubert Becker?

Geschichten und Anekdoten um einen beliebten Clausthaler Hochschullehrer

Von Claus Marx

Hubert Becker stammte aus Thale am Harz. Nach Abitur in Quedlinburg und Bergbaustudium in Clausthal begann sein beruflicher Werdegang bei Anton Raky in der Rheinischen Braunkohle. 1934 stieg er bei der Wintershall zum Leiter des Bohrbetriebes in Nienhagen auf.

1934 übernahm Dr. Becker – die Promotion war in Aachen erfolgt – die Leitung der Außenklasse Celle der Berg- und Hüttenschule Clausthal.

1940 wurde er Lehrbeauftragter für Tiefbohrkunde an der Bergakademie Clausthal, drei Jahre später Honorarprofessor. 1942 wurde Dr. Becker zum Direktor der nun selbstständig gewordenen Deutschen Bohrmeisterschule Celle ernannt.

Zu Kriegsbeginn wurde H. Becker eingezogen und sollte im Wehrmarchauftrag die galizischen Ölfelder modernisieren, wurde jedoch bereits nach drei Monaten wieder freigestellt, da er an der Bohrmeisterschule dringender benötigt wurde.

Professor Becker ist es zu verdanken, daß der Unterricht den ganzen Krieg hindurch reibungslos ablief. Durch seinen persönlichen Einsatz haben das Inventar, die Bücher und Sammlungen sowie die Akten das Kriegsende überdauert. An der TU Clausthal wurde er 1963 vom Honorarprofessor zum Ordinarius für Tiefbohrtechnik befördert, welche Funktion er bis März 1975 innehatte, während er als Leiter der Deutschen Bohrmeisterschule bereits 1972 ausgeschieden war.

Die folgenden „kleinen Geschichten und Anekdoten“, die den Menschen Hubert Becker besser charakterisieren als jeder ausführliche Lebenslauf



Prof. Hubert Becker

25.06.1903 – 18.11.1975

es könnte, wurden zusammengestellt aus Berichten von Zeitgenossen, in der Regel Absolventen der Bergakademie, die im Anhang namentlich erwähnt werden.

Start im Sommersemester 1946 [1]

Das Studium

Nach dem 2. Weltkrieg genehmigte die britische Militärregierung die Wiederaufnahme des Studienbetriebes an der Bergakademie Clausthal für das Sommersemester 1946. Dazu wurden zunächst 60

Studenten zugelassen. Professor Becker traf auf eine Generation von gerade erst aus der Kriegsgefangenschaft entlassenen Soldaten, die fast alle deutlich über dem typischen Studentenalter lagen. Im Kriege gereift, ging es zusammen mit den Professoren um einen neuen Anfang. Professor Becker hat später erzählt, daß es für ihn eine einzigartige Zeit des Erlebens und der beruflichen Erfüllung war. Einige besonders betagte Studenten – sieben bis acht Jahre Arbeits- und Militärdienst – brachte er schon in wenigen Semestern durch die Diplomprüfung und in den Beruf.

Ich zählte mit 22 Jahren zu den Jüngsten und war auf besondere Weise in das „Kraftfeld“ von Professor Becker geraten, was mir aber erst später aufging. Denn Professor Becker war bei der ihm eigenen Zielstrebigkeit in manchen Dingen sehr verschwiegen. So erfuhr ich erst gegen Ende des Studiums, daß er auf die gleiche Oberrealschule wie ich in Quedlinburg gegangen war und aus dem Nachbarort Thale stammte. Sein Vater hatte dort eine Bäckerei betrieben und war somit der Bäcker Becker. Professor Beckers Liebe zum Harz war vermutlich so groß wie die zur Bohrtechnik.

Als meine Freundin – wie ich aus Quedlinburg – mich, „schwarz“ über die Zonengrenze kommend, zu einem der ersten studentischen Feste besucht hatte, standen wir zum Abschied fest umschlungen auf der Plattform des uralten Bahnwaggons auf dem Clausthaler Bahnhof. So sahen wir Professor Becker (wohnhaft in Celle) erst, als er sich schon an uns vorbeigeschoben hatte und ihr zurief: „Nun weinen Sie man nicht, wir passen auf den schon auf!“

Gleich nach dem Vorexamen ging ich zu Professor Becker und sagte, ich hätte schon mal einige Vorlesungsstunden bei ihm gehört, könne aber jetzt nicht kommen, da ich mir Geld verdienen wollte und daher bei Professor Wöhlbier als Hilfsbremser angefangen hätte (Hilfsbremser = Hilfsassistent mit 30 DM pro Monat). Eine Woche danach sagte Professor Wöhlbier zu mir: „Kollege Becker sagte mir, daß Sie ins Erdöl wollen; gehen Sie man zu ihm.“ Als ich dann dort ankam, drückte mir Professor Becker gleich die Normen für Bauzemente in die Hand und sagte: „Arbeiten Sie die mal um für Erdölzemente.“

Professor Becker trug mir nie nach, daß ich nicht in seine Vorlesung ging. Unklar blieb, was er sich dachte, wie ich mir den Stoff aneignete. Ich traf ihn oft im Institut, wo er sich nach meiner (inzwischen) Verlobten aus Quedlinburg erkundigte und wie es jetzt im Bodetal bei Thale und auf der Roßtrappe und dem Hexentanzplatz wäre.

1949 holte mich Professor Becker von meiner sicheren Geldquelle („Hausputt“), der Eisenerzgrube Echte (im Harzvorland), weg und schickte mich zu den Dyckerhoff-Zementwerken nach Wiesbaden-Bibrach („Da stehen Sie sich besser“). Dort machte ich im Rahmen eines Gutachtens für den ersten, dort entwickelten deutschen Erdölzement Versuche im Labor und wurde für meine damaligen Begriffe gut vom Professor bezahlt. Was er am Institut dazu verdiente, hat er immer großzügig mit seinen Mitarbeitern geteilt.

Diplomingenieur ohne Zeugnis

Kaum war ich in Bibrach fertig (nun im 8. Semester), sagte er zu mir: „Sie werden doch bald fertig; da stellen Sie sich am besten schon mal bei der Wintershall in Emlichheim vor. Direktor Hahn sucht einen Bohringenieur. Der Hahn ist etwas eigen; aber Sie werden mit dem schon zurechtkommen. Schorse Müller muß sich demnächst bei Deilmann in Bentheim vorstellen; der kann Sie auf seinem Motorrad mitnehmen. Als wir eine Woche später losfahren wollten – es war Winter mit viel Schnee, – sagte Professor Becker am Vortage zu mir: „Lassen Sie das mal; das ist was für Werner Wesche. Sie praktizieren im Frühjahr bei der Gewerkschaft Brigitta in Steimbke; mit dem Chef habe ich schon gesprochen, schreiben Sie mal gleich hin.“ Als ich dann in den Semesterferien dort auf dem Bohrturm gearbeitet hatte, sprach mich der Bohrbetriebsleiter (anlässlich einer tiefbohrtechnischen Tagung in Celle, zu der ich mitgenommen wurde) nach langer Nacht morgens auf der Toilette an: „Du kannst zu uns kommen; nächsten Monat fängst du an!“ Ich stammelte unter Alkohol: „Herr Adamschak, ich muß doch erst noch mein Examen machen; es geht nicht eher als nächstes Frühjahr.“ – „Na, dann muß ich mir wen anders suchen; aber sieh mal zu, daß du spätestens zum Jahresende da bist.“

Für Professor Becker war das kein Problem: „Sie stellen einen Antrag, damit Sie wegen finanzieller Bedürftigkeit schon zu Weihnachten die Diplomprüfung machen dürfen. Schorse Müller kann da gleich mitmachen; denn die Deilmänner wollen den bald haben – und Lochte und Pitter sollen das man auch so machen.“

Noch bevor es dann zum weihnachtlichen Examen kam (16 Prüfungen in einer Woche), hatte ich – vermutlich durch unauffälliges Walten von Professor Becker – einen formlosen Brief von Gewerkschaft Brigitta mit der Zusage in der Hand, spätestens am 15. Januar 1951 – falls Diplomprüfung bestanden – für 300 DM/Monat als Dipl.-Ing. mit Verwendung je nach Bedarf die Arbeit aufzunehmen. (Erst nach 20 Jahren Tätigkeit bei Brigitta forderte die Personalabteilung zur Ergänzung der Personalakte mein Diplomzeugnis nach.)

Professor Becker machte Druck, damit auch die Diplomarbeit in sechs Wochen fertig wurde; geschrieben wurde sie außerhalb der Dienstzeit von seiner Sekretärin Frl. Ilse Märten, die mit ihrer Güte, Clausthaler Mundart und Vorliebe für Schokolade ein unverzichtbares Attribut der „Institution Professor Becker“ war.

Erst später ist mir aufgegangen, wie erfolgreich Professor Becker in seinen Schülern sein zweites Ich verwirklichte. Diese Schüler wußten natürlich zu würdigen – und zu nutzen, – daß Professor Beckers Frau Marie („Mariechen“) über fast alle Gedankengänge und Schritte ihres Gatten Bescheid wußte und warmherzig schon mal bei Bedarf einen hilfreichen Einblick gewährte.

Auch im Berufsleben behielt Professor Becker seine Schäfchen konsequent im Auge. Bei der Gewerkschaft Brigitta waren, beginnend 1949, nacheinander in kurzer Zeit vier Clausthaler Berginge-

nieure aus Professor Beckers Kraftfeld eingestellt worden (Runge, Graf, Klüß, Schindewolf). Als Professor Becker auf einer Sitzung des Vorstandes des Bergschulvereins Deutsche Bohrmeisterschule in Celle den Chef der Gewerkschaft Brigitta, Herrn v. Forgach, fragte: „Was machen denn unsere jungen Ingenieure?“, da sagte v. Forgach: „So weit ganz gut; aber wissen Sie, das ist wie mit den Küken, die sind immer klüger als die Henne!“

Nicht lange danach wurden bei Brigitta drei junge Bergingenieure aus dem Stall von Professor Prikel aus Leoben eingestellt (Hofbauer, Spörker, Walchshofer). Und wieder auf einer Sitzung der Bohrmeisterschule fragte Professor Becker: „Herr v. Forgach, haben Sie was gegen Clausthal? Sie haben ja nicht mal nachgefragt, als Sie jetzt zur Konkurrenz gegangen sind!“ V. Forgach: „Doktor Becker, ich möchte vermeiden, daß sich bei mir eine Mafia bildet!“ Wenige Jahre danach waren Walchshofer nach Schweden und Spörker nach Wien gegangen. Beide hatten dort auch ihre Frauen gefunden. Als Professor Becker Herrn v. Forgach wieder traf, sagte er: „Ich hörte, von Ihren drei Leobenern ist nur noch einer da; kennen Sie die Geschichte von den drei kleinen Negerlein?“

Professor Becker und die Bergakademie Freiberg [2]

An der Bergakademie wurden seit 1957 tiefbohrtechnische Vorlesungen vorwiegend von russischen Wissenschaftlern gehalten. Analog waren in der Bohrindustrie auch in erster Linie russische Ausrüstungen eingesetzt, deren technisches Niveau sich vor allem bei schwierigen geologischen Verhältnissen als unzulänglich erwiesen hatte.

Professor Becker war einer der ersten, der uns mit der Technik westlicher Prägung bekannt machte. Er tat dies nicht nur in Vorträgen, sondern versorgte unser im Aufbau begriffenes Institut für Tiefbohrtechnik und Erdölgewinnung mit westlichen Fachzeitschriften und Fachbüchern, die in Freiberg in unzureichendem Umfang vorhanden waren. Neben diesen materiellen Hilfen war es jedoch seine gütige und freundschaftliche Hilfsbereitschaft, die uns menschlich immer näher kommen ließ.

Gewürzt mit feinem Humor, erzählte er in geselliger Runde von seinen Lebenserfahrungen, wobei häufig die Rede auf Anton Raky kam, unter dessen Betriebsführung er als junger Mann gearbeitet hatte. Dabei gelang es ihm in spannenden Erzählungen, diesen einerseits genialen und andererseits schillernden self-made-man-Ingenieur fesselnd darzustellen. Viele bewunderten seine Kondition bei Tanzveranstaltungen im Rahmen unserer Tagungen; er war auch bei unseren Studenten äußerst beliebt, mit denen er unbefangen manches Glas gemeinsam leerte.

Bei unseren Tagungen in Freiberg trafen sich viele Fachkollegen aus den damaligen Ostblockländern, darunter auch solche aus Polen. Die älteren von ihnen kannten H. Becker von seinem Einsatz auf polnischen Erdölfeldern während des letzten Krieges. Sie waren ihm immer noch dankbar für sein faires Verhalten; einige hatte er sogar

vor dem Zugriff durch die in Polen besonders gnadenlos wütenden Vertreter des „Generalgouvernements“ wirksam geschützt.

In den Annalen des Freiburger tiefbohrtechnischen Instituts bleibt Hubert Becker als einer seiner hilfreichsten Förderer und guter Freund unvergessen.

Fürsorge [3]

Es war im Sommer 1948, kurz nach der Währungsreform, als ich als Bergbaubeflissener auf dem Erdölfeld Fuhrberg arbeitete. Nach Kohle, Erz und Salz war der Erdölbergbau für mich ein völlig neuer Bergbauzweig. Er steckte auch bei uns noch in den Anfängen. Deutschsprachige Lehrbücher gab es nicht. Ich lernte vor allem durch das täglich Erlebte auf dem Bohrturm und im Förderfeld.

Durch Querverbindungen erhielt ich eines Tages die Empfehlung, zur Bohrmeisterschule nach Celle zu fahren, um dort Prof. Dr. Becker zu besuchen. Dort angekommen, wurde ich in sein Zimmer geführt, an dessen einer Wand ein großes Regal mit vielen Fächern stand. Professor Becker begrüßte mich, fragte nach meinem Ergehen und nach meinen Fortschritten. Ich erzählte, bedauerte aber, daß mir kein Schrifttum zugänglich sei. Spontan sagte Professor Becker: „Junger Freund, drehen Sie sich um und bedienen Sie sich.“ Da stand ich nun vor dem Regal, wo wohlgeordnet zahlreiche Umdrucke für den Schulbetrieb der Bohrmeisterschule lagerten. Mit voller Aktentasche kehrte ich dankbar in das Ledigenheim der Wintershall zurück. Nun wurden das Rotary-Bohrverfahren, die Aufgaben der Spülung und vieles andere dem Berufsanfänger klarer.

Audimax oder Unterer Flambacher Teich? [4]

Im Sommer-Halbjahr 1947 und im Winter-Halbjahr 1947/48 las Herr Professor Becker „Technische Entwicklung des Bergbaus“ im Auditorium Maximum. Die Vorlesung war mit 30 bis 50 Studierenden gut besucht. Der Sommer 1947 bescherte seltene, schöne Tage. An einem dieser Tage bat Professor Becker zu Beginn der Vorlesung darum, die Fenster des Hörsaals zu öffnen, um eine gewisse Abkühlung herbeizuführen, die sich aber leider nicht einstellte. Also legte Professor Becker mit einer entschuldigenden Bemerkung seine Jacke ab. Dem guten Beispiel folgten die wenigen Studenten, die ebenfalls noch eine Jacke trugen. Daraufhin sah sich Herr Professor Becker erstaunt, vielleicht sogar verzweifelt im Kreise der Studierenden um und bemerkte: „Bei so schönem Sommerwetter pflegt der Clausthaler Student zum Baden zu gehen.“ Da auch diese Bemerkung ohne Wirkung blieb, begann Professor Becker sichtlich enttäuscht, aber wohl ein wenig beeindruckt von dem Lerneifer der Hörer, mit seiner Vorlesung.

Zur Klärung des Eifers sei beigetragen, daß die Bergakademie den Lehrbetrieb erst zwei Semester zuvor aufgenommen hatte. Das Durchschnittsalter der verheirateten Studenten lag bei 31 Jahren. ▶

Natürlich wollten alle das Studium schnell erfolgreich beenden, um Geld für die Familie zu verdienen. Jüngere Bewerber um die Zulassung an der Bergakademie, die gerade die höhere Schule oder das Bergbau-Praktikum abgeschlossen hatten, wurden zunächst – und das auch nur in Ausnahmefällen – lediglich als Gasthörer zugelassen.

„Join Becker, See Europe“: Exkursionen [5]

Im Kreise von Kollegen und Freunden auf seine bei den Studenten sehr beliebten Exkursionen angesprochen, pflegte Professor Becker zu sagen: „Der Wert einer Exkursion steht und fällt mit der Stimmung am ersten und am letzten Tag.“ In der Praxis konnte das folgendermaßen aussehen.

Die Studiker, in Clausthal mit dem roten Setra der Celler Omnibus-Firma L&K gestartet, holten Professor Becker zu Hause in Celle (alte Wohnung) ab. Mit braunem Lederkoffer und einer Flasche Weinbrand unter dem Arm betrat Herr Prof. Becker den Bus. Nach einem freundlichen Glückauf wurde die Flasche in Umlauf gesetzt, und die Exkursion nahm ihren Lauf.

Der Abschluß der Exkursion wurde so gelegt, daß am letzten Tag noch mit einer Firmeneinladung zu rechnen war – verbunden mit einem großen Essen und reichlich Freibier. Sehr beliebt in dieser Hinsicht war die Firma Kocks Drahtseile in Erkelenz oder die Wintershall in Landau.

Zum Abschluß wurde die Exkursionskasse bei einem Stop an der Autobahnraststätte in Seesen, bevor es zurück „zu Mutter“ ging, durch den Verzehr von Bockwurst und Bier total geplündert.

Analog dem englischen Spruch „Join the Navy, see the world“ kursierte unter Clausthaler Erdölstudenten in den 50er und 60er Jahren der Spruch „Join Becker, see Europe“.

Norddeutschland / Holland 1960

In Varel (Einladung der Firma Melitta) schafften es beim und nach dem Abendessen zwei Obergut zwei Stunden lang trotz intensiven Einsatzes nicht, den Durst der Exkursionsteilnehmer zu löschen.

Am Folgetag erhielten die Teilnehmer, die noch sehr unter den Folgen des Vorabends litten, als Startausrüstung für ihre zukünftige Ehe beim Besuch der Melitta-Werke einen Kaffeetopf mit zwei Tassen.

Einen Tag später, nach dem Besuch einiger Emslandfelder, war das Abendessen mit Freibier im Casino der Wintershall in Emlichheim so reichlich bemessen, daß am Folgetag der Geschäftsverkehr des Gastgebers stark gestört war, d.h. es mußten ein Konsortialgespräch und einige Verkaufsgespräche kurzfristig vertagt werden.

Abermals einen Tag später machte die Exkursion an einer später erdgasgeschichtlich bedeutenden Stätte halt: Der Besuch galt der NAM-Explorationsbohrung „Slochteren 1“, durch die kurze Zeit später Europas größte Onshore-Gaslagerstätte entdeckt wurde. Die NAM zeigte sich den Clausthaler Studenten gegenüber sehr spendabel, denn die Unterbringung in Den Haag erfolgte im

vornehmen Parkhotel in der Molenstraat. Die unter den Studikern weitgehend unbekannte Reistafel entfachte abermals einen Durst fast unbekannten Ausmaßes.

Süddeutschland / Italien / Österreich 1961

Im Gegensatz zum Feld Landau, wo in einem ausgedehnten Weinbaugebiet gebohrt und gefördert wurde, stand die besuchte Explorationsbohrung der ENI mitten in einem Tomatenfeld im Appennin mit herrlicher Fernsicht auf den Golf von Genua. Die alte Bohrung bei Mestre, die für eine Begründung eines Besuchs der Stadt Venedig erhalten mußte, haben wir dagegen nicht gefunden.

Folgeschwer war anschließend in Österreich die Einladung der ÖMV und die Unterbringung im Jugendgästehaus der Stadt Wien.

Nach der Befahrung einiger übertiefter Bohrungen im Wiener Becken hatte der Gastgeber zu einem Abendessen mit Weinprobe in Baumgarten eingeladen. Bereits die Einfahrt in diesen Ort ließ Schreckliches erahnen, als an der Ortseinfahrt am Straßenrand im Gras ein regloser Körper lag. Beim näheren Betrachten wurde es offenkundig, daß reichlicher Weingenuß diesen armen Mitmenschen von den Beinen geholt hatte.

Für die Exkursionsteilnehmer nahm das Schicksal seinen Lauf. Schon während kalte Platten mit Schinken und Käse gereicht wurden, wurde dem jungen Wein reichlich zugesprochen. Nach etwa zwei Stunden hatte sich die Gesellschaft langsam aufgelöst, denn ein jeder hatte mit sich selbst zu tun. Für 22 Uhr war die Rückfahrt vereinbart. Für die Assistenten war es kein einfaches Spiel, die Studiker, die durch den Ort irrten, wieder rechtzeitig einzufangen. Als dieses fast aussichtslose Unterfangen letztlich erfolgreich abgeschlossen und der Bus startklar war, fehlte Chef Becker. Also zogen die Studiker abermals durch den Ort, um den Chef zu suchen. Fündig wurde man schließlich im Gewölbe des Weinkellers, wo der Chef in froher Laune mit der Wirtin des Gasthofes und einem Vertreter der ÖMV bereits wieder dem lokalen Wein zusprach.

Mit einstündiger Verspätung wurde die Rückfahrt nach Wien angetreten. Trotz vieler Qualen einiger Studiker verlief diese Fahrt nach Wien ohne Halt; denn wäre das Gefährt geöffnet worden, wäre sicherlich der eine oder andere abermals verschütt gegangen. Die Ankunft im Jugendgästehaus verlief äußerst stürmisch. Während sich kleinere Gruppen gegenseitig stützten und geduldig in der geräumigen Eingangshalle auf die Schlüsselübergabe warteten, schoß ein Studiker, Halt an einer Säule suchend, an dieser vorbei und landete krachend in einem Prachtexemplar von Philodendron. Beide, Studiker und Zierpflanze, gingen zu Boden.

Auf der Etage angekommen, stoben die weiblichen Mitglieder eines Seminars der Universität Göttingen beim Anblick der Clausthaler wie wilde Hühner mit gellenden Schreien auseinander. Im Eifer des Gefechts waren die Beschilderungen der Türen schwer zu erkennen. Kaum war

Ruhe eingekehrt, da brach ein Studiker mit seinem Bett krachend zusammen. Die spontanen Reaktionen des Weins gestatteten keine langen und umständlichen Wege über den Flur, und somit war der Lauf zum Fenster der sicherste Weg, um Schlimmeres zu vermeiden.

Die Folgen jedoch wurden erst am nächsten Morgen, bei Licht besehen, klar erkennbar; denn zum Zeitpunkt unserer Übernachtung fanden in Wien die Ringer-Weltmeisterschaften statt. Im ersten Stock (Zimmer mit Balkon) nächtigte die iranische Ringermannschaft. Draußen auf dem Balkon waren die Nationalmannschaftstrikots zum Trocknen aufgehängt, und in diese edlen Staatssymbole waren während der Nacht vom oberen Stockwerk aus, auf dem die Clausthaler Studiker nächtigten, die Reste der ÖMV-Weinprobe „hineingefallen“. Die Ernüchterung folgte bald. Bereits die Putzfrauen, die in die Schlafräume eindringen, berichteten den noch schlaftrunkenen Studenten, daß ein vorzeitiges Verlassen des Jugendgästehauses unausweichlich sei. Die Wirtin in ihrer Güte war jedoch bereit, bei der Suche nach einer Ausweichunterkunft behilflich zu sein. Es hieß, daß wir in einen Wiener Bunker umziehen müßten. Bei der Begleichung der Rechnung stellte Professor Becker entsetzt fest, daß die Höhe des Schadens, der in Rechnung gestellt worden war, höher als die Übernachtungskosten ausgefallen war. Statt vor dem besagten Bunker machte der Bus vor einem stattlichen Gebäude in der Nähe des Praters halt. Hier sollten und wollten wir die kommenden zwei Nächte in einem der oberen Stockwerke verbringen. Wo wir alle samt Chef gelandet waren, wurde auch dem Dämmsten mit Einbruch der Dunkelheit klar, als vor dem Haus männliche Gestalten aufzogen und mit den Bewohnerinnen der ersten beiden Etagen in lautstarke Verkaufsgespräche eintraten.

Frankreich 1963

Die Reise führte über Paris und Bordeaux nach Pau. Hier wurde die mechanische Werkstatt des Bohrturbinenpioniers Tiraspolksky besucht. Bereitwillig und freundlich stellte sich der alte Herr den vielen Fragen der Clausthaler Studenten.

Die Übernachtung erfolgte in einem noblen, alten, mit viel Plüsch ausgestatteten Hotel mitten im Zentrum dieser Stadt. Die Weiterfahrt am folgenden Tag verlief sehr unruhig; denn fast jeder Exkursionsteilnehmer begann, sich mehr oder weniger verstohlen an Armen und Beinen zu kratzen. Des Rätsels Lösung: Wir hatten plötzlich Flöhe an Bord.

Gegen abend erreichten wir die Camargue, die südfranzösische Landschaft, die Professor Becker sehr schätzte. Beim Besuch der Rhone-Mündung bei Sonnenuntergang gerieten wir zu allem Überfluß auch noch in gewaltige Mückenschwärme, die unser Fell zusätzlich perforierten. Um der Lage letztlich Herr zu werden, wurde spontan am Mittelmeerstrand gestoppt, und alle Teilnehmer samt Chef Becker suchten in den kühlen Fluten Linderung vom starken Juck- ▶

reiz. Nach dem erholsamen Bad herrschte Ruhe, und die Exkursion konnte ohne weitere Zwischenfälle fortgesetzt werden.

Beckers Märchenstunde [6]

Es gab zu meiner Studentenzeit 1951 bis 1955 für uns Bergleute eine – wie ich glaube – zweisemestrige Vorlesung von Professor Becker über die „Geschichtliche Entwicklung des Tiefbohrens“ oder so ähnlich. Den genauen Titel kann man aber sicher in Clausthal herausfinden.

Das Besondere an dieser Vorlesung war, daß Herr Prof. Becker den Inhalt für die Hörer außerordentlich interessant und praxisnah durch die Schilderung eigener Erlebnisse aus seinem Berufsleben vor seiner Lehrtätigkeit, insbesondere auch aus seiner Zeit in Rumänien, würzte. Die Vorlesung war recht gut besucht und nannte sich bei den Studenten – und das war nicht abwertend, sondern positiv und zustimmend gemeint – „Beckers Märchenstunde“.

Ich wurde einmal im Sommer auf der „Sägemüller“ von einem Kommilitonen angesprochen: „Ich will zum Unteren Flambacher Teich, kommst du mit?“ – „Nein, ich gehe zu Beckers Märchenstunde.“ – „So, ist die gleich? Dann komm' ich auch mit!“

Nur ein Clausthaler Student der damaligen Zeit kann ermessen, was für eine Würdigung von Beckers Märchenstunde ein solcher Verzicht zugunsten einer Vorlesung war.

Der Chaiselongue-Stil [7]

Als junger Fux erkundigte ich mich bei älteren Kommilitonen, welche Vorlesungen ich als Erstsemester in der Fachrichtung Bergbau belegen und hören sollte. Nach Aufzählen einer langen Liste kam dann der Hinweis: „Und Beckers Märchenstunde.“ So wurde von den Untertagebergleuten etwas herablassend die Einführung in die Tiefbohrkunde bezeichnet. Ich wurde jedoch von Art und Inhalt des Vortrages von Professor Becker, der einen großen Bogen vom chinesischen Bohren vor 1000 Jahren bis zum Pionier Raky, vom pennsylvanischen Seilbohren bis zum Rotaryantrieb spannte, bereits in den ersten Stunden derart fasziniert, daß ich auch im weiteren Studienverlauf diese Fachrichtung mit besonderem Interesse verfolgte.

So kam es auch, daß ich meine bergmännische Diplomarbeit im Spülungslabor des Institutes von Professor Becker schrieb. Nach vielen Versuchen und munteren Solei-Parties – die hartgekochten Eier wurden im Anmachwasser für Salzspülungen eingelegt – konnte ich Herrn Professor Becker einen ersten Entwurf vorlegen. Als ich meine mühselig zusammengeklebten Kurvendarstellungen entfaltete und nahezu den gesamten Schreibtisch verdeckte, sagte er: „Junger Mann, bevor Sie weiter fortfahren, ein Hinweis: Sie sollten die Ausarbeitung im „Chaiselongue-Stil“ schreiben.“ Ich begriff sofort, was er meinte, packte meine Siebensachen

zusammen und lieferte wenig später ein drastisch zusammengestutztes Kompendium ab und bin gut damit gefahren.

Der „Schwarze September“ [8]

Da Professor Becker im Institut schlief, hatte ich während des Beginns der Aktivitäten des „Schwarzen Septembers“ Angst um ihn. In dieser Zeit stand wochenlang Tag und Nacht ein altes Auto – anscheinend herrenlos – auf dem Institutsplatz herum. Eines Morgens sahen meine Kollegin und ich beim Ankommen, daß das Auto in der Nacht angesteckt und total ausgebrannt war. Wir sorgten uns gleich um unseren Chef. Er kam gleich in unser Zimmer und lachte über unsere Sorge. Ihm sei nichts geschehen, warum auch?

Er hatte sich vom Fenster aus in aller Ruhe angesehen, wie das Auto verbrannte. Angst hatte er nicht.

Am Freitagmittag nahm Professor Becker mich nach Dienstschaft meist ein Stück mit dem Auto mit in die Stadt. Er aß entweder im „Glückauf“ (Hindenburgplatz), dann stieg ich in der Schulstraße in der Nähe meiner Wohnung aus; oder er aß in „Wolf's Hotel“, dann fuhr ich bis Kronenplatz mit, um noch einzukaufen. In seiner humorvollen Art fragte er mich dann: „Essen Sie zu Hause oder müssen Sie noch einkaufen? Davon hängt es ab, ob ich im „Glückauf“ oder in „Wolf's Hotel“ essen gehe.“

Geologen und Ingenieure [9]

Der Verein für Tiefbohrtechnik sollte durch Aufnahme der Erdölgeologen erweitert werden. In einer Mitgliederversammlung des VTT ging es um den neuen Namen. Professor Lübken als Vorsitzender des VTT hatte vorgeschlagen: „Deutsche Vereinigung der Erdölgeologen und -ingenieure“. Das war Professor Becker überhaupt nicht recht. Er bat ums Wort und erklärte kategorisch: „Das kommt überhaupt nicht in Frage. Mit einem Strich-Ingenieur im Namen können wir nicht antreten.“ Damit war der Vorschlag unter schallendem Gelächter der Mitglieder vom Tisch. Die Lösung lautete dann bekanntermaßen „Deutsche Vereinigung der Erdölgeologen und Erdölingenieure, DVGI“.

Telefon-Professor [9]

Professor Becker fragte mich 1971 einmal: „Wissen Sie, was ein Telefon-Professor ist?“ Ich suchte nach einer ernsthaften Antwort, fand aber keine. Dann sagte Professor Becker schmunzelnd: „Das ist ein Professor mit nur einem Hörer.“

Diesen Scherz hatte ich dann mit Erfolg wiederholt in Celle angebracht; nur bei einem ausländischen Diplom-Kandidaten aus Clausthal wirkte die Geschichte nicht erheitend. Der Kandidat erklärte mir folgendes: „Ich war ein Semester der einzige Hörer von Professor Becker. Da fiel natürlich auf, wenn ich nicht da war. Deshalb hatte ich mich vorsichtshalber bei Professor Becker entschuldigt, als ich ausgerechnet am Vorlesungstag in dringenden Angelegenheiten zur Bot-

schaft meines Heimatlandes nach Bonn bestellt worden war“. Professor Beckers Antwort: „Gut, das geht vor, aber die Vorlesung holen wir nach.“

Prüfung im Wohnzimmer [9]

Im Studium des Maschinenbaus in Hannover mußten wir zum Hauptexamen in drei Wahlfächern Prüfungen ablegen; zwei technische und ein nicht-technisches Fach sollten es sein. Professor Becker hatte als Honorarprofessor der TH Hannover die beiden Vorlesungen „Tiefbohrkunde“ und „Erdölgewinnung“ gehalten, und ich hatte mich für diese Fächer entschieden, da ich in meinen Semesterferien in der Erdölindustrie des Celler Raumes als Werkstudent gearbeitet hatte. Als der Prüfungstermin durch Aushang bekanntgemacht wurde, stellte ich fest, daß ich an einem Tag drei Prüfungen ablegen sollte, und bat Professor Becker, ob er mit einer Verschiebung des Termins einverstanden wäre. Professor Becker: „Zu dem genannten Termin bin ich ohnehin in Hannover. Ich möchte wegen der Prüfung nicht extra anreisen.“ Kandidat: „Ich würde gern die Prüfung in Celle ablegen. Es ist meine Heimatstadt.“

Professor Becker: „Einverstanden. Haben Sie einen Terminvorschlag?“ Kandidat: „Ja, Pfingstmontag.“ Professor Becker: „Wie kommen Sie denn darauf?“ Kandidat: „Am Pfingstdienstag beginnt morgens eine Studentenreise nach Rom, an der ich gern teilnehmen möchte.“ Professor Becker: „Gut, dann bin ich einverstanden. Kommen Sie dann um 16.00 Uhr in meine Wohnung.“

Am Prüfungsnachmittag wurde zunächst Kaffee angeboten und über Italien gesprochen. Professor Becker erwies sich als ausgesprochener Kenner italienischer Geschichte und Kultur und machte mir in reicher Zahl gute Vorschläge, was ich unbedingt sehen sollte. Ich merkte, daß diese Hinweise langsam begannen, mein Gedächtnis zu besetzen, in dem eigentlich das angelegte Wissen gespeichert war, und so mußte ich nach ca. einer Stunde die Notbremse ziehen, indem ich eine kurze Gesprächspause nutzte und den Hinweis gab: „Herr Professor, in Oberitalien gibt es doch auch Erdöl- und Erdgasvorkommen?“ Professor Becker stutzte, dann sagte er: „Wenn Sie schon so direkt auf die Prüfung lossteuern, dann können wir ja gleich anfangen.“ Pro Fach eine halbe Stunde Prüfung, dann war es geschafft. Und eine gute Note konnte ich auch noch mit nach Hause nehmen.

Praktikum in der Kneipe [10]

In den Clausthaler Semesterferien verlegte ich meine Tätigkeit nach Celle in die Deutsche Bohrmeisterschule, die von Professor Becker geleitet wurde. Dort führte ich mit den Schülern das Laborpraktikum durch. Die folgende Begebenheit hat sich an einem sonnigen Herbsttag mit den Teilnehmern eines Oberbohrmeister-Lehrgangs zugetragen.

An diesem Tag kam gegen 13 Uhr Meister Zeppei, der für die Maschinenhalle der Schule verantwortlich war, zu mir ins Labor und sagte: „Meine Frau ist verreist, und ich bekomme heute kein ▶

Mittagessen. Wollen wir nicht zum Essen in die nächste Kneipe gehen?“ Ich stimmte zu, denn bis zum Beginn des Praktikums war noch eine Stunde Zeit. Eine kleine Verspätung für meine Rückkehr einkalkulierend, hinterließ ich für die Schüler an der Tafel folgende Information: „Bin in der Kneipe!“ Die Schüler wußten, welche Kneipe ich meinte. Ich hoffte, daß sie ein paar Minuten im Labor auf mich warten würden.

Meister Zeppe und ich brachen zum Mittagessen auf. Nach und nach fanden sich die angehenden Oberbohrmeister auch in der Kneipe ein. Sie hatten, was ich nicht wußte, meiner Nachricht an der Tafel die Worte „Wir auch“ hinzugefügt und die Tafel fotografiert. Es wurde ein fröhlicher Nachmittag, und weder die Schüler noch ich verspürten die geringste Lust auf das Laborpraktikum.

Am späten Nachmittag, wir alle waren vom Alkohol schon etwas umnebelt, kam ein Schüler von der DEA auf die Idee, den fröhlichen Nachmittag in der DEA-Kantine fortzusetzen. Wir stimmten dem Vorschlag zu und brachen nach Wietze auf. Dort ging unsere Fete weiter, und keiner kam auf die Idee, nach Celle zurückzufahren. Unser gemeinsames schlechtes Gewissen, die Meinung Professor Beckers zu unserem Schuleschwänzen betreffend, betäubten wir mit Alkohol. Wir blieben in Wietze, bis der Wirt meinte: „Meine Herren, es wird Zeit zu gehen.“

Wir brachen auf und fuhren nach Celle in unsere Quartiere. Zu meinem Erstaunen blieb das erwartete Donnerwetter von Professor Becker am nächsten Tag und in den folgenden Wochen aus. Ich kam zu dem naheliegenden Schluß: „Aha, er hat nichts gemerkt.“

Das war ein Irrtum. Monate später überreichte mir Professor Becker mit einem verschmitzten Lächeln das von den Schülern aufgenommene Foto. Ich traute meinen Augen nicht. Auf dem Foto war die Tafel abgebildet mit den verräterischen Hinweisen auf den Ort des fröhlichen Nachmittags ohne Praktikum. Mir wurde klar, daß Professor Becker von unserem Praktikum in der Kneipe schon seit geraumer Zeit gewußt hat.

So war unser „Hubert“. Er erfuhr alles und gab sein Wissen um Vorgefallenes erst bei einer passenden Gelegenheit, ohne großes Aufsehen, kund.

Examensnöte [11]

Wer sich mit Professor Becker gut stand, für den galt er nach Aussagen eines seiner früheren Assistenten als „betriebs sicher“. Ich habe das zweimal bestätigt bekommen, im Hauptexamen und bei der Promotionsprüfung.

Vor einigen Jahrzehnten war Tiefbohrkunde und Erdölgewinnung noch kein gesondertes Prüfungsfach, sondern wurde als Bergbau C gemeinsam mit Bergbau B geprüft. Die Kandidaten saßen also den Professoren Becker, Mohr und Wöhlbier gegenüber. Zu meiner Verwunderung wurde ich, obwohl Diplomand von Professor Becker, von ihm fast nicht, dagegen hin und wieder von den beiden andere Professoren über deren Fachgebiete examiniert. Zu meiner Verblüffung bekam ich dafür sogar die Note 1,4.

Nach der Prüfung angesprochen, warum er mich so wenig gefragt habe, antwortete Professor Becker: „Da der Dorstewitz (Bergbau A; No-

ten wurden zusammengezogen) Sie schon geprüft und mit 2,2 benotet hatte, konnte ich Ihnen nicht mehr zu einem „sehr gut“ verhelfen, und daß Sie „gut“ sind, wußte ich bereits vorher.“

In der Promotionsprüfung lief es genau umgekehrt. Dort stellte mir Professor Becker sehr viele Fragen, womit fast die ganze Dauer der Prüfung belegt wurde. Auf meine diesbezügliche Frage nach dem Examen seine Antwort: „Ich wollte Sie vor unangenehmen Fragen durch Korreferenten bewahren.“

ANHANG

- [1] H.-G. Graf (Jg. 1950)
- [2] W. Arnold (Freiberg)
- [3] G. Fürer (Jg. 1953)
- [4] H. Schulz (Jg. 1951)
- [5] W. Lillie (Jg. 1962)
- [6] J. Reiss (Jg. 1955)
- [7] D. Heymer (Jg. 1959)
- [8] Ilse Märten
(Institutssekretärin 1969 – 1988)
- [9] C. Marx (Jg. 1956, TH Hannover)
- [10] K. Kunz
(Laborant 1953 – 1990; „Vater Kunz“)
- [11] W. Schulz (Jg. 1956)

Prof. (em.) Dr.-Ing. Dr. h.c. Claus Marx
 Institut für Erdöl- und Erdgastechnik
 Agricolastraße 10
 38678 Clausthal-Zellerfeld
 Tel.: 05323/72-2238
 Fax: 05323/72-3146

Wir haben uns an Kunststoffe gewöhnt, sie rosten oder korrodieren nicht, können bruchfest sein und dauerhaft eingefärbt werden. Für viele Anwendungsbereiche sind sie weitaus besser geeignet als Metalle; beispielsweise ist im Flugzeug- und Fahrzeugbau ihre Leichtigkeit von Vorteil, denn diese bewirkt unmittelbar eine Treibstoffeinsparung. Als Verpackungen sind Kunststoffe besonders gut geeignet, da sie luftdicht, transparent, unzerbrechlich und chemikalienresistent sind. Die Bauindustrie wurde durch Kunststoffe revolutioniert; sie verrotten nicht wie Holz, sie rosten nicht wie Eisen und sie brauchen keinen Schutzanstrich. In der Medizin erhöhen Kunststoffprodukte die Sicherheit: Keimfreie Einwegspritzen, -schläuche und -beutel können nach Gebrauch ohne Infektionsrisiko verbrannt werden. Schließlich wäre die moderne Kommunikations- und Unterhaltungselektronik ohne Kunststoffe völlig undenkbar.

Diese in der Praxis gestellten vielfältigen Anforderungen erzwingen eine Vielzahl von polymeren Werkstoffen mit unterschiedlichsten Eigenschaftsspektren.

Um die Anwendungsbreite dieser Werkstoffe zu erweitern, sind chemische Modifizierungen der Standardpolymere notwendig. Standardkunststoffe

Kunststoff-modifizierung

Eine Methode zur Gewinnung neuartiger Produkte

Von Gudrun Schmidt-Naake

wie Polypropylen, Polyethylen und Polystyrol können mit diesen Verfahren diversifiziert und höherwertigen Anwendungen zugeführt werden, ohne daß neue Monomerbausteine oder Polymerisationsverfahren erforderlich sind.

Unter chemischer Modifizierung von Polymeren sind alle chemischen Reaktionen an bereits fertigen Kunststoffen zu verstehen. Wichtige technische Anwendungen von chemischen Umsetzungen an Makromolekülen sind z.B. die Vulkanisation, das Ver-

netzen von Kautschuk mit Schwefel oder Peroxiden und die Herstellung von teilvernetzten Polyvinylalkoholen, die als Emulgatoren breite Anwendung finden, oder die Herstellung von Ionenaustauschern.

Modifizierungen werden in Lösung oder dispergierter Form durchgeführt. Alternative Technologien zur lösungsmittelfreien Modifizierung von Polymeren sind die reaktive Extrusion und tribochemische Reaktionen. Unter reaktiver Extrusion versteht man Umsetzungen in der Schmelze. Mit tri- ➤

bochemischen Reaktionen werden Reaktionen am Festkörper, die durch Einwirkung mechanischer Energie hervorgerufen werden, bezeichnet.

Polymermodifizierung in einer Schwingmühle

Nur wenige systematische Untersuchungen sind bisher über mechanochemisch induzierte Polymermodifizierungen und Feststoffpolymerisationen bekannt.

Die tribochemischen Umsetzungen an fertigen Kunststoffen führen zu interessanten Eigenschaftsveränderungen. Dabei werden Löslichkeit, thermisches Verhalten, Chemikalienresistenz, Quellungsfähigkeit, Zugfestigkeit, Elastizität und Plastizität beeinflusst.

Im Sonderforschungsbereich (SFB 180) der TU Clausthal „Konstruktion verfahrenstechnischer Maschinen bei besonderen mechanischen, thermischen oder chemischen Belastungen“ wurde gemeinsam mit dem Institut für Maschinenwesen eine hochbeschleunigende Schwingmühle entwickelt, die als Reaktor für die Verarbeitung von Feststoffen und Feststoff-/Flüssigkeitsgemischen dient. Dabei erfolgen simultan mit der Zerkleinerung und Vermischung der Reaktionskomponenten mechanochemisch induzierte Reaktionen an den Kunststoffen.

Es werden Amplituden von 0,75 bis 3,0 mm bei Beschleunigungen bis zum 84-fachen der Erdbeschleunigung verwirklicht. Diese Mühle ermöglicht erstmalig, die Beschleunigung als völlig neuen Parameter in die Betrachtung mechanochemischer Polymerreaktionen einzubeziehen.

Der hohe mechanische Energieeintrag bewirkt eine homolytische Spaltung der Polymerketten, d.h. Bildung von Radikalen und damit in Anwesenheit von geeigneten Monomeren eine radikalische Feststoffpolymerisation. Im Ergebnis entstehen Pfropf- und Blockcopolymere.

Um das Eigenschaftsprofil der Polymere gezielt zu variieren, ist der kontrollierte Molmassenabbau eine weitere sehr interessante Einsatzmöglichkeit einer Schwingmühle. Der Mahlprozeß dauert maximal eine Stunde.

Untersucht wurde der zeitabhängige Schwingmahlabbau [1] von Homopolymeren wie Polystyrol, Polymethylmethacrylat, Polyethylen, Polyvinylchlorid und verschiedenen kommerziellen Styrolcopolymeren bei Variation der Betriebsbedingungen (Reaktionstemperatur, Amplitude, Beschleunigung, Kugelfüllgrad, Kugelgröße usw.).

Die Parameter der Schwingmühle wirken sich auf die Geschwindigkeit der tribochemischen Umsetzung (Abbau und Modifizierung) aus. Der Einfluß der Temperatur ist geringer, er hängt natürlich von der Größe der Aktivierungsenergie der jeweiligen Reaktion ab. Bei den Polymeren ist zu beachten, ob die Reaktion oberhalb oder unterhalb der Glasempertemperatur stattfindet.

Bild 1 zeigt schematisch die in der Mühle möglichen chemischen Reaktionen zur Polymermodifizierung, die verwendete Reaktionsmühle und die Molmassenverteilungen während des Abbauprozesses.

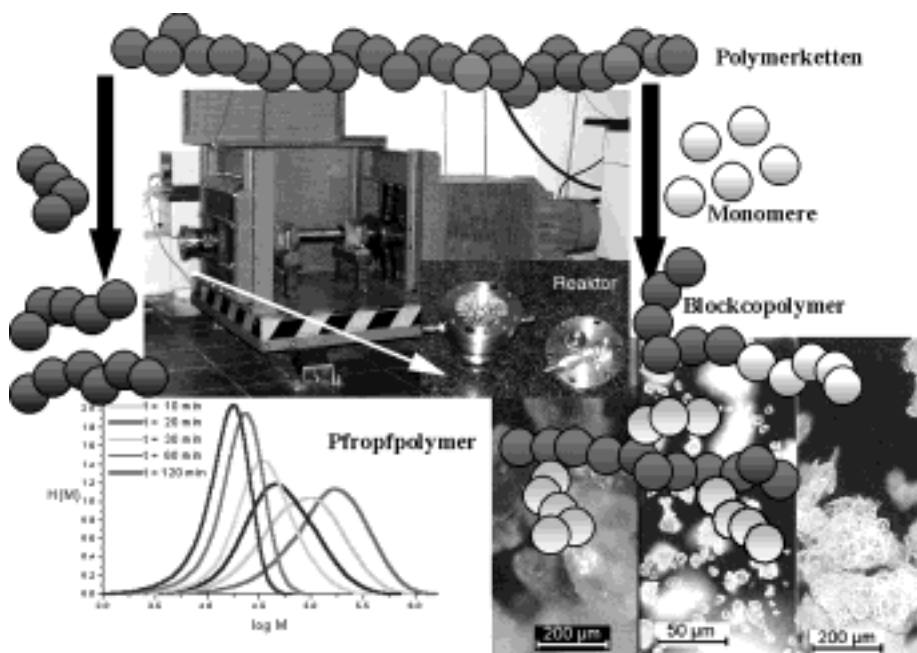


Bild 1: Mechanochemische Polymermodifizierung in einer Schwingmühle

Durch mechanochemische Polymersynthese [2], d.h. durch Schwingmahlung von Polymeren (z.B. Polyethylen, Polypropylen, Polystyrol, Styrolcopolymeren) in Gegenwart von Monomeren wie z.B. Acrylsäure entstehen neuartige Kunststoffe mit interessanten mechanischen Eigenschaften, verbunden mit außerordentlich hoher Wasseraufnahme. Der Einbau von Monomeren mit sauren Gruppen kann zur besseren Anfärbbarkeit von Polyolefinen (Polyethylen, Polypropylen) oder zur Erzeugung von Polyelektrolyten genutzt werden.

Polymermodifizierung in der Schmelze

Alle Thermoplastverarbeitungsverfahren beginnen mit dem Aufschmelzen von Granulat oder Pulver in einem Extruder, der nach dem Fleischwolfprinzip funktioniert. Reaktionen an Polymeren in der Schmelze werden bei der Verarbeitung im Knetter (diskontinuierlich) und im Extruder (kontinuierlich) durchgeführt.

Bei der reaktiven Extrusion werden chemische Prozesse wie Polymersynthese und Modifizierung der Kunststoffe durch chemische Umsetzungen mit Extrusionsprozessen wie Schmelzvorgang, Bildung von Polymermischungen (Blends), Veränderung der übermolekularen Strukturen und Verformung zu gewünschten Formkörpern miteinander gekoppelt. Voraussetzung ist allerdings, wenn der Extruder auch gleichzeitig zum chemischen Reaktor werden soll, daß die Reaktionskomponenten und eventuelle Katalysatoren und Zusätze unter den vorgegebenen Bedingungen mischbar sind, eine weitgehende homogene Schmelze bilden und die thermische Zersetzung noch nicht beginnt. Wichtig dabei ist die Kontrolle der Molmassen, um einen Polymerabbau möglichst zu vermeiden. **Bild 2** zeigt den verwendeten Doppelschneckenextruder.

In den letzten 15 Jahren ist die Entwicklung der reaktiven Extrusion zunehmend mehr auch auf industrielles Interesse gestoßen. Seit 1980 liegen mehrere hundert Patente auf diesem Forschungsfeld vor, besonders auf dem Gebiet der Herstellung von Polymerblends mit kontrollierter Struktur und Morphologie, wobei gleichzeitig die Verträglichkeit durch chemische Umsetzungen an den Komponenten der Polymermischungen gesteigert wird. Unterschiedliche Polymere sind fast ausnahmslos nicht miteinander mischbar.

Ziel unserer Forschung ist es, die Kombination von verschiedenen Polymeren durch Synthese sogenannter Mischungsvermittler zu ermöglichen. Mit Polymerblends, die auch als „Kunststofflegierungen“ bezeichnet werden, kann man in neue Eigenschaftskombinationen wie z. B. von Wärmeformbeständigkeit, Festigkeit, Steifigkeit, leichte Verarbeitbarkeit usw. vordringen. Blends können mehr als die Summe der Einzelkomponenten, falls es gelingt, die verschiedenen Polymere in der physikalisch optimalen Mikrostruktur ineinander zu verteilen.

Unsere Arbeiten basieren dominierend auf Reaktionen an Styrolpolymeren mit reaktiven funktionellen Gruppen in der Seitenkette unter Erhalt des Makromolekülgerüsts.

Ausführlich wurde von uns die Umsetzung von Maleinsäureanhydrid [3], das im Polystyrol eingebaut ist, mit niedermolekularen Verbindungen wie Alkoholen und sekundären Aminen untersucht. Diese Produkte senken durch den Weichmachereffekt der langen Seitenketten die Schmelztemperatur und können damit die Verformbarkeit erleichtern.

Verwendet man primäre Amine, so erhält man Kunststoffe mit Imidstrukturen in der Seitenkette, die gezielt erhöhte Wärmeformbeständigkeit, ▶

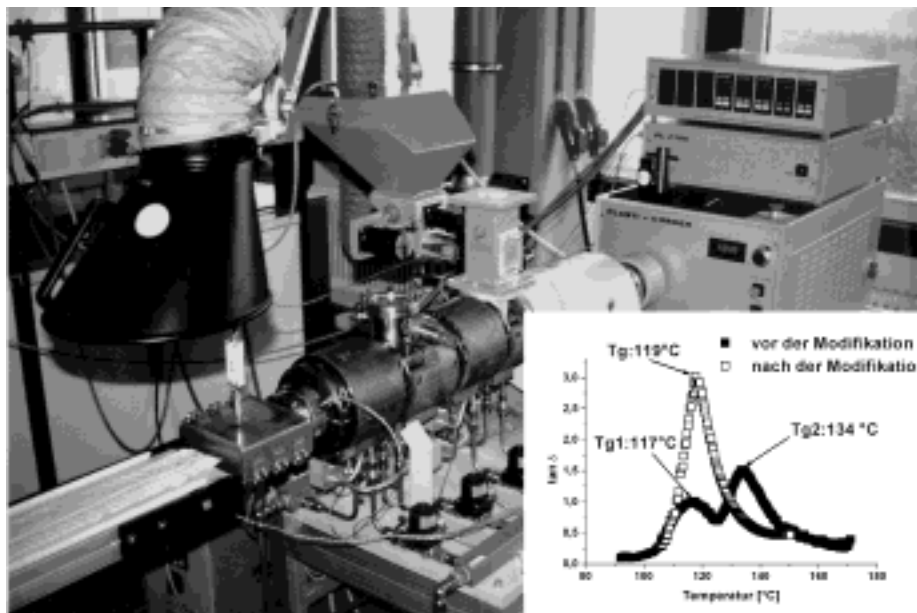


Bild 2: Doppelschneckenextruder und rheologisches Verhalten: Verlustfaktor ($\tan \delta$) in Abhängigkeit von der Temperatur führt zu Glastemperaturen (T_g)

hohe Haftung auf metallischen Oberflächen und gute Elektroisolationseigenschaften zeigen.

Bei der Umsetzung mit Aminosäuren entstehen Polymere, die in der Seitenkette aliphatisch oder aromatisch gebundene Säuregruppen tragen.

Diese Polymere können durch Salzbildung z.B. mit Natronlauge in wasserlösliche neuartige Polyelektrolyte überführt werden, die als Dispergierhilfsmittel und Verdicker eingesetzt werden können.

Chemische Umsetzungen an der Nitrilgruppe von kommerziellen Styrolcopolymeren (SAN) führen zu interessanten, bisher nur wenig untersuchten reaktiven Heterocyclus-Strukturen. Solche Polymere können zur Herstellung von Blends und Verbundwerkstoffen eingesetzt werden, wo durch chemische Reaktionen die Dispergierung und Phasenbindung nichtmischbarer Komponenten erreicht wird.

Ziel unserer Arbeiten [4] ist die Synthese von Polymischungsvermittlern, die z. B. zur Bildung von thermodynamisch stabilen Blends aus SAN mit Polyamiden, Polycarbonaten und Polyestern einsetzbar sind. Mit derartigen „reactive-blending“-Verfahren können neuartige Eigenschaften erzielt werden, die aus den Blendkomponenten und deren Mischungsverhältnis nicht vorhersehbar sind.

Durch Umsetzung von SAN mit niedermolekularen Stoffen, wie z.B. mit verschiedenen Aminoalkoholen entstehen ringförmige Oxazolin-Bausteine in der Seitenkette, wie es schematisch in **Bild 3** dargestellt ist.

Die Reaktionen laufen bei 190 °C in der Schmelze in Gegenwart eines Katalysators mit hohen Umsätzen ab.

In unseren Versuchen wird der Reaktionsverlauf in Abhängigkeit von der Konzentration und Art der niedermolekularen Additive, der Katalysator-

konzentration und der Reaktionsbedingungen untersucht. Weiterhin wird die Nutzung der entstandenen reaktiven Zentren, das heißt der cyclischen Strukturen in der Seitenkette zur Pfropfpolymerisation oder als Grundlage für Beschichtungen und Reaktivanstriche näher betrachtet. Dabei kann entweder die neue Struktur selbst reagieren oder als Träger von anderen reaktiven Gruppen dienen.

Die erzeugten neuen Materialien werden hinsichtlich ihrer thermischen, morphologischen und rheologischen Eigenschaften charakterisiert.

Polymerelektrolytmembranen für Brennstoffzellen durch strahlungsinduziertes Pfropfen

Polymermodifizierungsreaktionen können auch an Polymerfilmen und Folien vorgenommen werden. Die Einführung reaktiver Gruppen

in die Seitenkette kann den spezifischen Einsatz als Membranen z.B. in Trennverfahren ermöglichen. Eine sehr aktuelle Problematik ist in diesem Zusammenhang die Entwicklung von Polymerelektrolytmembranen (PEM) für Brennstoffzellen.

Die Brennstoffzellen gelten als die Schlüsselemente einer künftigen Energieversorgung. Diese innovative Zukunftstechnologie ist prinzipiell für mobile Anwendungen (z.B. in Automobilen, Schiffen, Bahn, Laptops, Handys usw.) und für stationäre umweltfreundliche Energieversorgung (z.B. von Gebäuden und Industrieanlagen) von großem Interesse. Prognosen der Automobilindustrie erwarten allein in Deutschland einen Bedarf an Brennstoffzellen für ca. 5 Millionen Fahrzeuge (ca. 10 % des Bestandes) bis 2010.

Für die mobilen Anwendungen wird die Protonenaustauschmembran-Brennstoffzelle (PEMFC) infolge ihrer hohen volumetrischen und gravimetrischen Leistungsdichte mit einer Arbeitstemperatur um 100 °C dominieren. Ein Vergleich von wasserstoffbetriebenen PEMFC mit Verbrennungsmotoren zeigt einen etwa 10 % höheren Wirkungsgrad.

In **Bild 4** ist das Funktionsprinzip einer PEMFC gezeigt; die Elektroden werden durch einen protonenleitenden Elektrolyten getrennt. Zur Anode wird der Wasserstoff herangeführt und zur Kathode der Sauerstoff. Das Reaktionswasser entsteht dabei an der Kathode. Viele Einzelzellen werden zu einem Stapel (stack) in Serie geschaltet.

Das größte Problem von wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellenfahrzeugen ist die Wasserstoffspeicherung und die dazu notwendige Infrastruktur. Ein wesentlicher Fortschritt für mobile Anwendungen ist die direkte elektrochemische Oxidation von Methanol in der Brennstoffzelle (Direkt-Methanol-Brennstoffzelle, DMFC).

Die marktbeherrschenden Hauptlieferanten von Membranen für PEMFC (Nafion®) sind DuPont de Nemours, Asahi Chemicals und Dow Chemical. Diese Perfluor-Sulfonsäure-Membranen kosten derzeit 500 US\$/m² bzw. 150 US\$/kW ▶

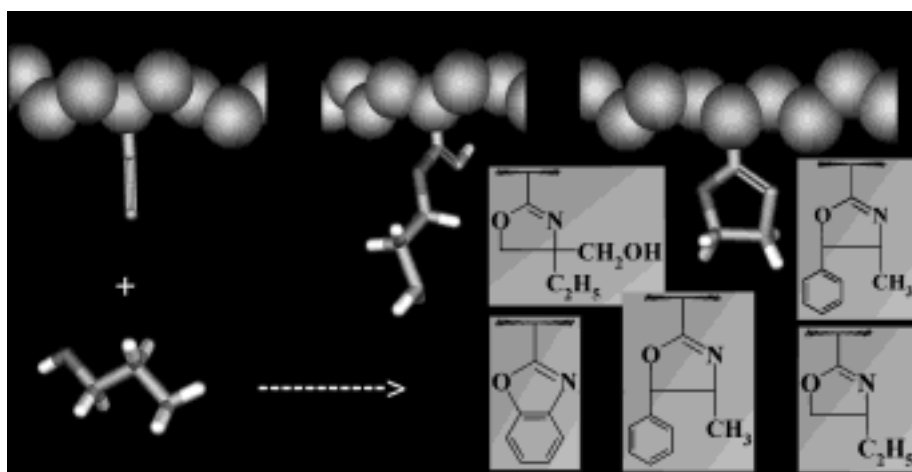


Bild 3: Polymermodifizierung von SAN mit Aminoalkoholen unter Bildung von Oxazolinstrukturen

bezogen auf die Leistung, so daß die PEM einen erheblichen Anteil an den Gesamtkosten der Brennstoffzelle hat.

Weltweit gibt es zahlreiche Aktivitäten zur Entwicklung von neuen Membranmaterialien. Kriterien für einen Vergleich der Membranen stellen Eigenschaften wie hohe spezifische Leitfähigkeit ($> 0,1 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$), gutes Wasserbindevormögen unter PEMFC-Betriebsbedingungen, lange Lebensdauer (> 5 Jahre), Undurchlässigkeit für H_2 bzw. andere Brennstoffe wie Methanol und O_2 , hohe mechanische Stabilität und geringe Kosten ($< 200 \text{ US\$}/\text{m}^2$ für $100 \mu\text{m}$ Membrandicke) dar.

Entwicklungsbedarf bei den Membranen besteht in kostengünstigen Varianten der PEM mit gleichen oder besseren Eigenschaften.

Von mehreren Arbeitsgruppen werden PEM durch strahlungsinduziertes Pfropfen von Styrol auf Fluorpolymere mit nachfolgender Sulfonierung hergestellt. Die von Scherer [5] auf diese Weise hergestellten Membranen auf Poly(tetrafluorethylen-co-hexafluorpropylen)- (FEP) und Poly(tetrafluorethylen-alt-ethylen)- (ETFE) Basis erreichen Stromdichten von $500 \text{ mA}/\text{cm}^2$ bei 240 mV bzw. Kurzschlußspannungen von 680 und 790 mV bei 60°C . Das Verhalten der Styrolmembran ist vergleichbar mit Nafion, nicht jedoch die Stabilität der Membran gegenüber Sauerstoff.

Um den oxidativen Membranabbau durch Sauerstoff, der immer in der Brennstoffzelle vorhanden ist, zu reduzieren, wurden von uns [6] Membranen entwickelt, die nicht ausschließlich auf Polystyrolsulfonsäure beruhen. Kommerzielle fluorhaltige und fluorfreie Polymerfolien werden durch β -Strahlung aktiviert und anschließend gepfropft. Als oxydationsstabilere Monomere werden z.B. Acrylnitril, α -Methylstyrol, 2-Acryl-amido-2-methyl-1-propansulfonsäure, N-Vinylpyrrolidon, Vinylsulfonsäure, N-Vinylimidazol usw. eingesetzt.

Bild 5 zeigt unsere Strategiefelder für die Herstellung der Protonen-Austausch-Membranen.

Die Einführung der Säuregruppen kann direkt über die Monomere oder nachträglich durch Sulfonierung bzw. polymeranaloge Umsetzungen mit säurehaltigen niedermolekularen Verbindungen erfolgen.

Durch den Einsatz neuer oxydationsstabiler reaktiver Vernetzer kann die Oxydationsstabilität und das Quellverhalten wesentlich beeinflusst werden.

Wichtige Eigenschaften derartiger Membranen, wie Oxydationsstabilität, Austauschkapazität, Quellverhalten, Leitfähigkeit usw. liegen besser als Nafion und ermuntern uns daher zu weiterführenden Arbeiten.

Zusammenfassung

Dieser kurze Überblick soll unseren Beitrag an der weltweit wichtigen Entwicklung von Methoden zur Modifizierung von Kunststoffen zu deren gezielten Eigenschaftsverbesserung dokumentieren.

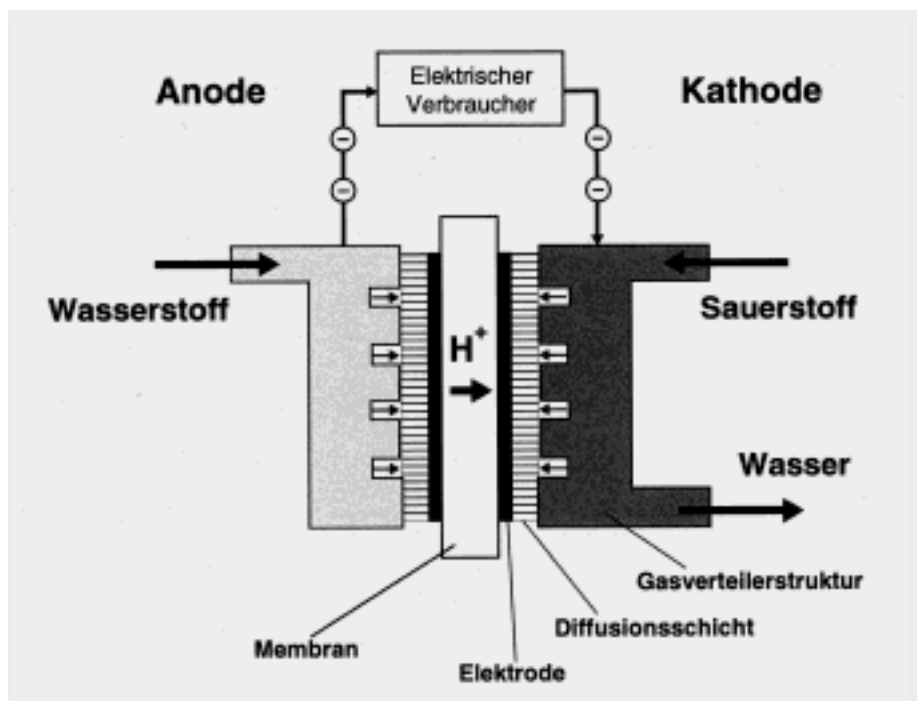


Bild 4: Funktionsprinzip einer PEMFC.

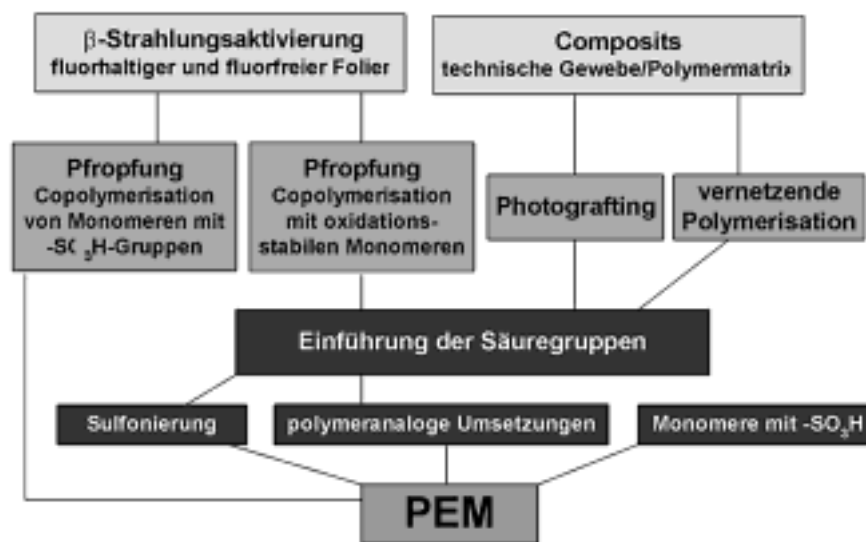


Bild 5: Überblick über unsere Herstellungsstrategien von PEM

LITERATUR

- [1] Frendel, A.; M. Drache; G. Janke; G. Schmidt-Naake: *Chem. Ing. Techn.* 72 (2000), S. 391
- [2] Janke, G.; G. Schmidt-Naake: *Chem. Eng. Technol.* 22 (1999) S. 997; *Chem. Ing. Techn.* 73 (2001), S. 99
- [3] Schmidt-Naake, G.; H. G. Becker; M. Klak: *Macromol. Symp.* 163 (2001), S. 213
- [4] Becker, H. G.; N. Merayo; G. Schmidt-Naake: *Angew. Makromol. Chem.* 265 (1999), S. 63; *Chem. Ing. Techn.* 72 (2000), S. 638; *Chem. Eng. Technol.* 23 (2000), S. 11
- [5] Gupta, B.; F. N. Büchi; G. G. Scherer: *Solid State Ionics* 61 (1993), S. 213
- [6] Becker, W.; G. Schmidt-Naake: *Angew. Makromol. Chem.* 273 (1999), S. 57; *Chem. Ing. Techn.* 72 (2000), S. 1541

Prof. Dr. rer. nat. habil. Gudrun Schmidt
Institut für Technische Chemie
Erzstraße 18
38678 Clausthal-Zellerfeld
Tel.: 0 53 23/72-20 36, Fax: 0 53 23/72-36 55
<http://www.itc.tu-clausthal.de>

Schaumslaggen in der Stahl-Metallurgie

Von Matjaž Juhart, Michael Peter und Klaus Koch

Die Vorteile einer gut schäumenden Schlacke bei der Stahlherstellung im Elektrolichtbogenofen sind unbestritten. Verminderte Wärmeverluste an die Seitenwände, verbesserter Wärmeübergang von den Lichtbögen auf das Stahlbad, verminderte Lärmemission und verminderter Elektroden- und Feuerfestverbrauch sind nur die wichtigsten Vorteile der Schaumslaggen-Fahrweise [1], [2].

Schaumstruktur

Disperse Systeme Gas-Flüssigkeit heißen Schäume, wenn Gasblasen durch einen dünnen, flüssigen Film voneinander getrennt sind. Es können zwei Arten von Schäumen unterschieden werden: der feuchte bzw. instabile Schaum und der trockene bzw. metastabile Schaum. Der feuchte Schaum bleibt nur solange stabil, wie der Schäumprozeß abläuft. Der trockene Schaum mit wenig Flüssigkeitsanteil ist aus polyedrischen Blasen zusammengesetzt. Diese Blasen sind durch sehr dünne, ebene oder konvex bzw. konkav gekrümmte, flüssige Filme getrennt. Dabei setzt eine ebene Filmfläche identische Durchmesser der sich jeweils berührenden Blasen voraus.

Die beiden erwähnten Schaumarten unterscheiden sich im Gasanteil: in feuchten Schäumen ist er kleiner als 90 %, bei trockenen Schäumen beträgt er bis ca. 97 %. Es wurde versucht, mit Hilfe aufgeschäumter Seifenlauge (handelsüblich „Pustefix“) die Struktur von Schäumen modellartig zu veranschaulichen, **Bild 1**. Die erzielten Anordnungen sind weitgehend einlagig. Beobachtbar sind 4er- bis

7er-Koordinationen (bei ebener Betrachtung), wobei die 6er-Koordination die ideale Form darstellt. Eindrucksvoll ist, wie wenig Flüssigkeit wieviel Gas umschließen kann [2].

Betriebliche Schaumslaggen

Eine im Betrieb gut schäumende Schlacke ist in **Bild 2** zu sehen [3]. Voluminös fließt die Schlacke aus der Ofentür heraus. Die Schlackenoberfläche zeigt eine „schuppige“ Struktur. Hellere Bereiche deuten dabei auf eine höhere lokale Temperatur hin; in den dunkleren Bereichen ist die Schlacke bereits partiell erstarrt. Regellos verteilt, sind kleine kreisförmige Bereiche zu erkennen, die relativ hell leuchten. An diesen Stellen sind Gasblasen aus der Schlacke aufgestiegen, womit sich der Gasgehalt insgesamt verringert. **Bild 3** zeigt eine gut aufgeschäumte Elektroschlacke nach der Erstarrung. Die deutlich polygonale „Wabenstruktur“ deutet an, daß diese Schlacke im flüssigen Zustand einen hohen Gasanteil (> 90 %) enthalten hat.

Die Schlackenwege von Betriebsschlacken [3], [4], [5] lassen sich in verschiedenen Mehrstoff-Phasendiagrammen darstellen. **Bild 4** zeigt einen Ausschnitt aus dem System $\text{CaO-FeO}_n\text{-SiO}_2\text{-MgO}$. Die MgO -Parameterlinien für 1600 °C sind eingetragen. Dabei ist in allen drei Kurvenzügen die bekannte „ C_2S -Nase“ zu sehen (C_2S =

$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$). Hieran schließen sich jeweils die Ausscheidungslinien des $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ und des CaO bzw. des Magnesiowüstits an. Der mit „Beginn“ bezeichnete Punkt ist als erste schäumende Schlacke der Schäumperiode des Stahlherstellungsprozesses zu verstehen. Der weitere Schlackenweg wird gekennzeichnet durch Schlacken, die während der Schäumperiode gewonnen wurden. Dabei nähern sich die ersten vier Analysen mit einem MgO -Gehalt von ca. 3 % vom homogen-flüssigen Bereich her immer mehr der C_2S -Ausscheidungsfläche an, bleiben aber homogen-flüssig. Erst die Endprobe mit 4,8 % MgO ist bei 1600 °C nicht mehr homogen-flüssig, sondern hat die Magnesiowüstit-Ausscheidungsfläche durchstoßen. In zeitlicher Reihenfolge nehmen die FeO_n -Gehalte kontinuierlich ab. Die Schlacken „trocknen aus“ aufgrund der Reduktion.

In **Bild 5a** werden die in der Nähe von Gasblasen in erstarrten Schlacken sichtbaren Erscheinungen mit Hilfe der Auflichtmikroskopie dokumentiert. Diese Schlacken stammen von der Herstellung un- bzw. niedriglegierter Stähle. In der Mitte des

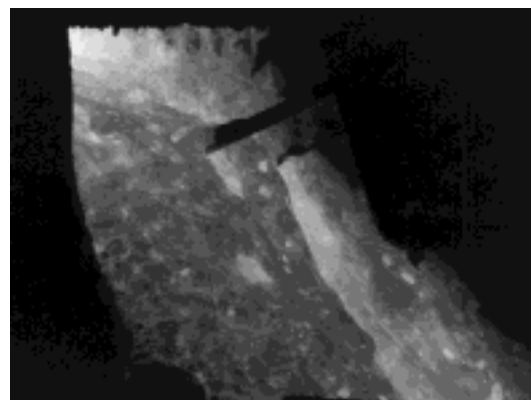


Bild 2: Gutes Schäumverhalten einer betrieblichen Schlacke; Schlackenauslauf aus der Tür eines Elektrolichtbogenofens

Schliffbildes ist eine nur zum Teil verfüllte Gasblase erkennbar, die von einer schmalen und kreisförmigen Kalksilikat-Phase umgeben ist. Räumlich gesehen, ist diese Gasblase demnach von einer dünnwandigen Kalksilikat-Hohlkugel umhüllt. Ferner sind im Schliffbild Reste von weiteren Kalksilikat-Sperrschichten zu erkennen.

Eine mögliche Erklärung für diese Erscheinungen kann in den Vorgängen bei der Abkühlung der Schlacke gefunden werden. In einem ersten Schritt verfestigt sich hochschmelzendes Kalksilikat um die Gasblase herum. Unter der Annahme, daß dadurch die Gasblase umschlossen bleibt, bildet sich bei weiterer Abkühlung in der so entstandenen Kalksilikat-Hohlkugel ein Unterdruck. Wird dieser Unterdruck zu groß, hält die dünne Kalksilikatwandung den Belastungen nicht mehr stand. Ist um die Kugel herum noch genügend Schlacken-Schmelze vorhanden, kann sie partiell in den Hohlraum hinein gesaugt werden. Die Ausscheidungen weiterer wichtiger Phasen sind in **Bild 5b** zu sehen. ▶

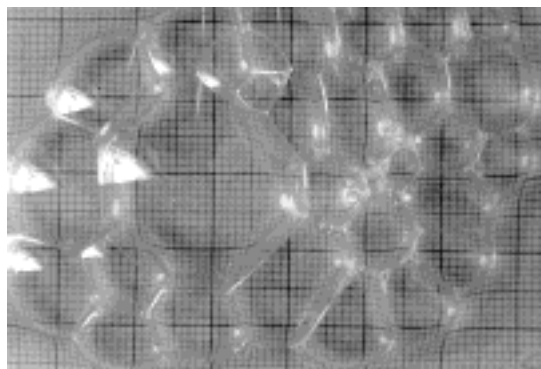
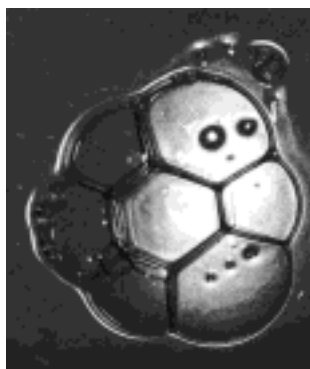


Bild 1: Modellversuche zum Aufschäumen; Struktur aufgeschäumter Seifenlauge auf einer Glasplatte
a) Schaum mit unterschiedlich großen Blasen



b) einlagige Blasenkonfiguration



Bild 3: Erstarrete betriebliche Probe einer gut schäumenden Elektroschlacke

Der Gasanteil der im Elektrolichtbogenofen schäumenden Schlacken ist auch untersucht worden. Dazu wurden mit einem speziellen Probenlöfl insgesamt 60 Schaumslagproben in der Nähe der Ofentür genommen, also dort, wo schäumende Schlacken aus dem Elektrolichtbogenofen herausfließen. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in **Bild 6** dargestellt. Überwiegend enthalten die Schlackenproben einen Gasanteil von 85 bis 95 %. Alle diese Werte zeigen die große Kapazität der Schlacken auf, Gas zurückzuhalten. Aufsteigende Gasblasen verlassen jedoch schon bei der Probenahme kontinuierlich die Schlacke, so daß davon ausgegangen werden kann, daß die tatsächlichen Gasgehalte von Schaumslagproben eher noch höher anzusetzen sind.

Laborversuche

Die Versuchsanordnung zur Ermittlung des Schäumverhaltens von betrieblich gewonnenen und synthetisch veränderten Schlacken wird in **Bild 7** schematisch dargestellt [6]. Die Schäumversuche werden bei Temperaturen von 1400 bis 1760 °C im Tammannofen mit innenliegendem Tonerde-Schutzrohr durchgeführt. Durch die waagerechte Versuchsanordnung kann der Schäumvorgang der Probe mittels einer Videokamera aufgezeichnet werden. Ein an die Kamera angeschlossener Videorecorder dient zur Speicherung der Rohdaten.

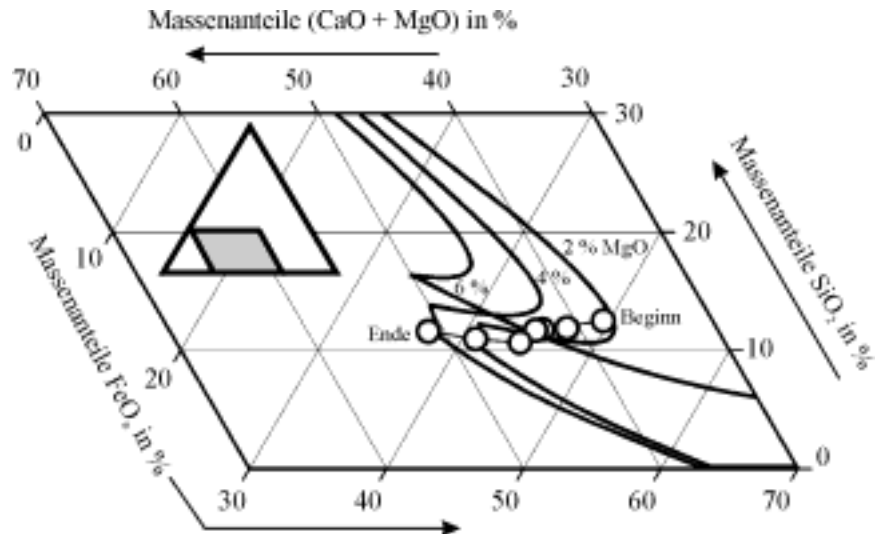


Bild 4: Schlackenweg einer exemplarisch ausgewählten betrieblichen Versuchsreihe; Darstellung im System $\text{CaO-FeO}_n\text{-SiO}_2\text{-MgO}$; Linien gleichen MgO -Gehaltes für 1600 °C

Die Weiterverarbeitung der Videoaufzeichnung kann auf zwei unterschiedlichen Wegen erfolgen. Das erste Grundprinzip beruht auf der photoelektrischen Messung von Helligkeitswerten. Die zweite Methode ist die rechnergesteuerte Bildanalyse, bei der die auf Videoband aufgezeichneten Versuche digitalisiert werden. Durch die direkte Messung der Projektionsfläche A und der Höhe h der schäumenden Probe ist das Volumen bzw. die Volumenzunahme der Probe berechenbar.

Anhand einer Probe in **Bild 8** ist der generelle Schäumvorgang dargestellt. Grundsätzlich zeigt die Sequenz die Vorgänge während eines Laborversuches. Im oberen linken Teilbild ist der dunkle Kohlenstoffiegel gerade in den auf Versuchstemperatur befindlichen Ofen eingesetzt worden. Der Tiegel selbst befindet sich auf einer Tonerde-Platte, die wiederum auf ein nach oben geöffnetes Tonerde-Halbrohr montiert ist, um das Schutzrohr des Ofens vor eventuell ausfließender Schlacke zu schützen. Diese Elemente sind auf allen Bildern der Sequenz zu sehen. Auf dem zweiten Bild der Se-

quenz hat der Aufschmelz- und Schäumvorgang bereits begonnen. Im dritten und vierten Bild ist ein scheinbar kontinuierliches Wachstum der Probe zu erkennen. Die Bilder zeigen allerdings nicht einen einzelnen Wachstumsvorgang, da die Momentaufnahmen zeitlich deutlich voneinander getrennt sind. Die eigentliche Pulsier-Frequenz der Probe ist wesentlich größer und kann bis zu 5 Hz betragen.

Der Verlauf einer so ermittelten Schäumkurve ist in **Bild 9** dargestellt. Nach dem Einsatz in den Ofen beginnt der Schäumvorgang nach ca. 90 s. Nach weiteren 4 min ist das Plateau der hohen Volumenzunahmen erreicht. Bei den Maximalwerten ist hier das Probenvolumen annähernd 14-fach vergrößert.

Bild 10 zeigt die Ergebnisse einer sekundären Auswertungsmethode, nämlich Kurven der Häufigkeitsverteilung. Die einzelnen Meßwerte sind unterschiedlichen Volumenklassen zuzuordnen. So sind alle Werte einer nicht schäumenden Probe in die kleinste Volumenklasse einzuordnen. Abgesehen von diesem Anfangswert, haben die Kurven über die restlichen Klassen ein glockenähnli-

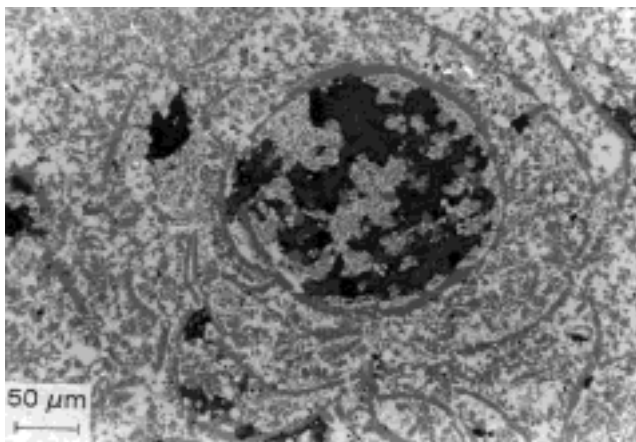
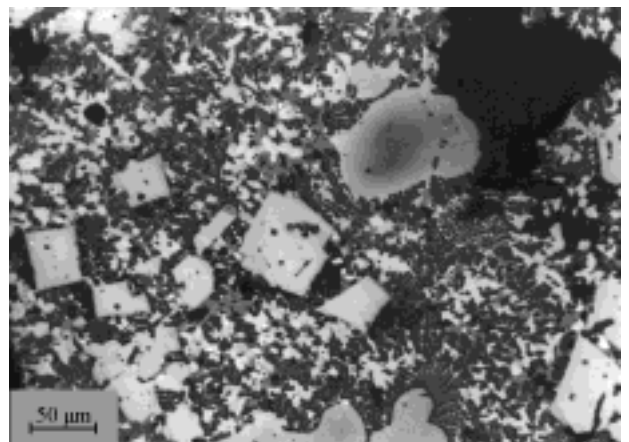


Bild 5: Schliffbilder von erstarren betrieblichen Schlackenproben
a) kalksilikatische Ausscheidungen



b) Ausscheidungen von zonar aufgebautem Magnesiowüst und Chromit-Spinell

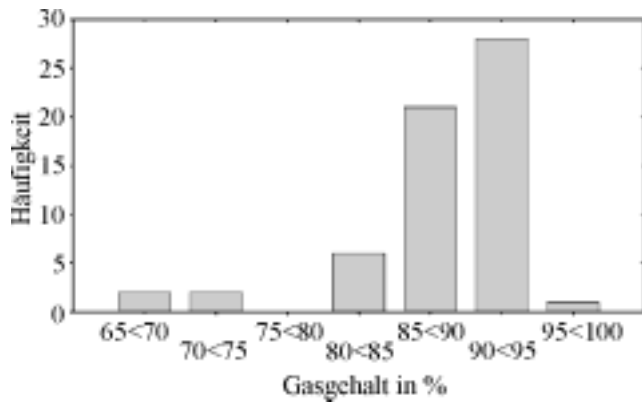


Bild 6: Darstellung des in betrieblichen Schaumslaggen enthaltenen Gasanteils

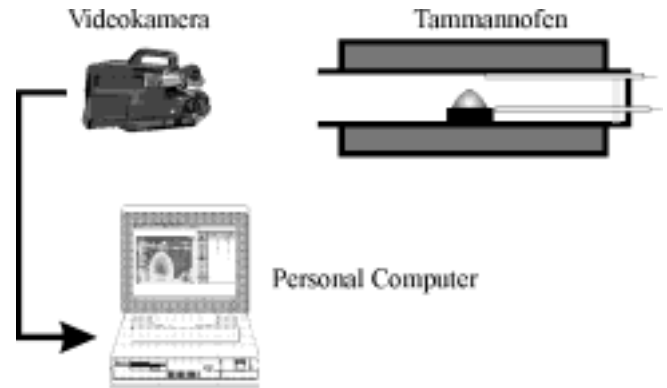


Bild 7: Versuchsanlage zur Datenerfassung und Datenauswertung

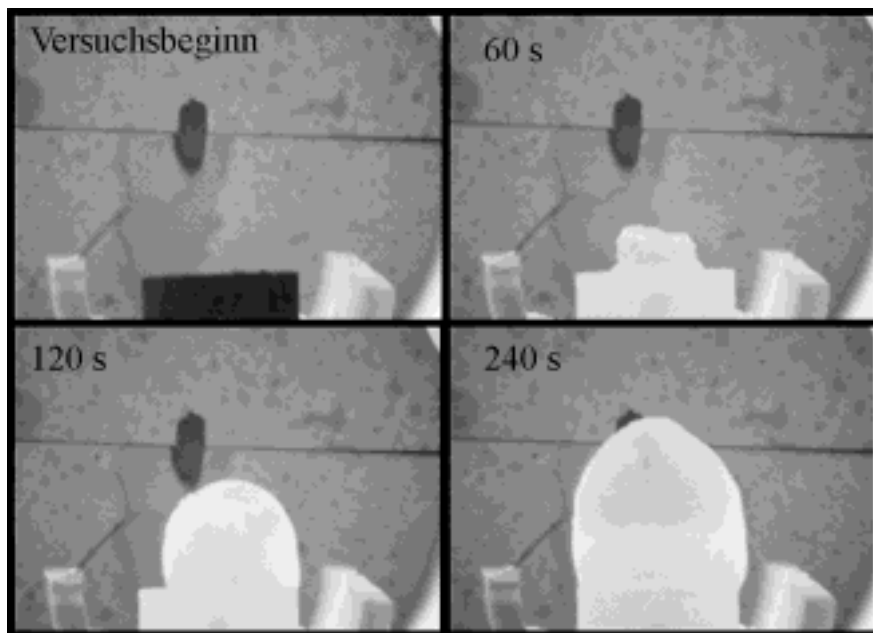


Bild 8: Einzelbilder eines ausgewählten Laborversuches zum Aufschäumvorgang bei 1550 °C

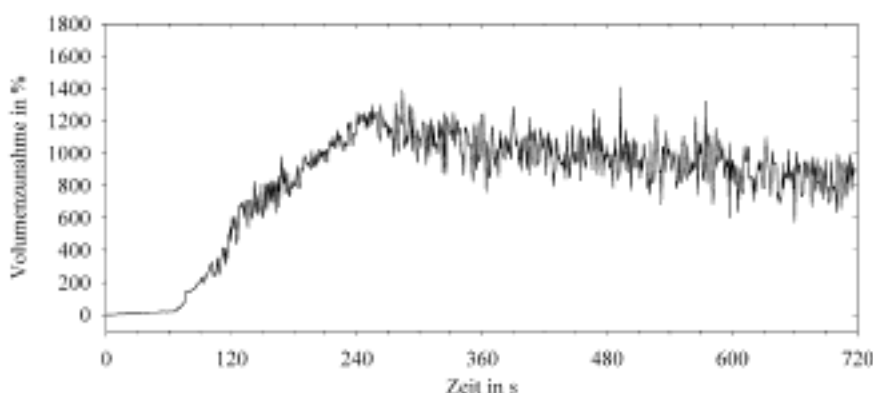


Bild 9: Schäumverhalten einer gut schäumenden Probe

ches Profil. Das Glocken-Maximum zeigt somit die am häufigsten erreichten Volumenzunahmen an. Die Endwerte dieser einzelnen Meßkurven zeigen die Größenklasse an, in der – neben eventuell dort vorhandenen weiteren Meßwerten – auch die maximale Volumenzunahme zu finden ist. Die mittlere Volumenzunahme der Schäumproben steigt von 500–800 % bei 1450 °C auf 1400–1600 % bei 1550 °C. Beim weiteren Anstieg der Temperatur auf 1650 °C nimmt sie wieder auf Werte um 800–900 % ab. Dies gilt auch bezüglich der maximalen Volumenzunahme.

Zusammenfassung

Das Schäumverhalten von Prozeß-Schlacken des Elektrolichtbogenofens wird im Betriebs- und im Labormaßstab untersucht. Mit Hilfe der Bildanalyse digitalisierter Videoaufzeichnungen kann das Schäumen von Schlacken quantifiziert werden. Die gemessenen Schäumvolumina sind dabei von der Schlackenzusammensetzung und der Versuchstemperatur abhängig. Unter 1400 °C sind zumeist die untersuchten betrieblichen Proben fest. Im Temperaturintervall von 1450 bis 1550 °C kann sich das Schäumvolumen vergrößern. Bei weiterer Erhöhung der Versuchstemperatur werden meistens die Volumenzunahmen aufgrund des schlechteren Gasrückhaltevermögens wieder geringer. Die Analysen von gut schäumenden, betrieblichen Schlacken sind entweder der Dikalziumsilikat- oder der Magnesiowüstite-Ausscheidungsfläche zuzuordnen. Betriebsmessungen bestimmen den Gasgehalt von Schaumslaggen. Fast alle Proben haben einen Gasanteil von über 85 %.

LITERATUR

- [1] Peter, M.: Untersuchungen zum Schäumverhalten von Schlacken des Elektrolichtbogenofen-Prozesses. Dr.-Ing.-Diss., TU Clausthal (1999)
- [2] Juhart, M.: Schaumslaggen der Elektrostahlerzeugung und der Sekundärmetallurgie. Dr.-Ing.-Diss., TU Clausthal (2000)
- [3] Peter, M.; Koch, K.; Lamut, J.; Juhart, M.: Schäumverhalten von Schlacken des

Elektrolichtbogenofen-Prozesses. Stahl u. Eisen 119 (1999) Nr. 10, S. 71–79

- [4] Juhart, M.; Peter, M.; Koch, K.; Lamut, J.; Rozman, A.: Schäumverhalten von Schlacken aus der Produktion chromhaltiger Stähle im Elektrolichtbogenofen. *Stahl u. Eisen 121 (2001) Nr. 9, S. 35–41*
- [5] Juhart, M.; Koch, K.; Lamut, J.: Schäumverhalten von Schlacken der Sekundärmetallurgie. *Berg- u. Hüttenm. Monatshefte 146 (2001) Nr. 11, S. 439–444*
- [6] Juhart, M.; Peter, M.; Koch, K.; Lamut, J.: Picture Analysing Method of Slag Foaming Behaviour. *Steel Research 72 (2001) No. 3, p. 81–85*

Dr.-Ing. Matjaž Juhart
 Dr.-Ing. Michael Peter
 Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Koch
 Institut für Metallurgie
 Robert-Koch-Straße 42
 38678 Clausthal-Zellerfeld
 Tel.: 0 53 23-72-22 57
 Fax: 0 53 23-72-31 84

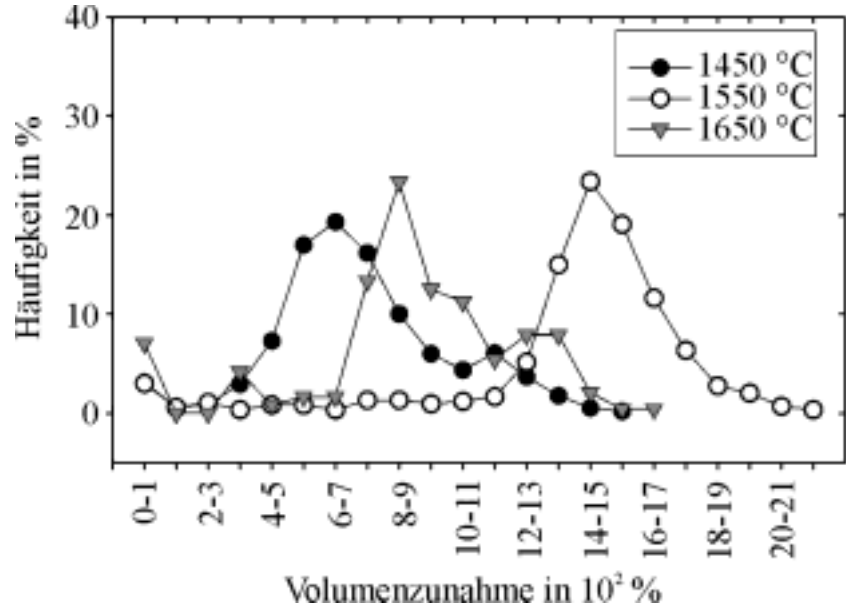


Bild 10: Häufigkeitsverteilungen von Volumenzunahmen für drei verschiedene Versuchstemperaturen

DEM MIKROKONTAKT AUF DER SPUR

Entwicklung eines neuartigen p- ϑ -h-Sensors zur synchronen Messung in EHD Gleit-Wälz-Kontakten

Von Hubert Schwarze und Ludwig Brouwer

Zur Messung in höchstbelasteten elasto-hydrodynamischen (EHD) Kontakten, wie sie beispielsweise in Zahnradkontakten, Wälzlagern, Nocken-Stößel-Paarungen oder Reibgetrieben vorkommen, wurde ein neuartiger Sensor entwickelt, der die drei wesentlichen Parameter Druck p, Temperatur ϑ und Spaltweite h im EHD-Kontakt synchron erfassen kann.

Bei diesem werden in einem speziellen Beschichtungsprozeß verschiedene Werkstoffe direkt auf die Bauteiloberfläche aufgebracht, die unterschiedliche Funktionen haben und in ihrem Zusammenwirken den eigentlichen Sensor bilden.

Bei der Druck- und Temperaturmessung kommt ein resistives, indirektes Meßverfahren zum Einsatz, wobei sich der spezifische elektrische Widerstand eines metallischen Leiters bei Veränderung

der Zustandsgrößen Druck und Temperatur ändert.

Da die Werkstoffe eine simultane Druck- und Temperaturmessung ermöglichen sollen, müssen die selektiven Eigenschaften, also als Druck- und Temperatursensor zu arbeiten, durch eine geeignete Werkstoffwahl vorgegeben werden.

Dabei sollte der Werkstoff für einen Drucksensor eine große Abhängigkeit des spezifischen elektrischen Widerstands vom Druck und eine möglichst geringe Abhängigkeit von der Temperatur zeigen. Für den Einsatz als Temperatursensor gelten genau die entgegengesetzten Werkstoffanforderungen.

Anhand von Werkstoffkennwerten zeigt sich, daß *Chrom* die beste Eignung als Material für derartige Drucksensoren aufweist. Dem höchsten Druck-Widerstands-Koeffizienten $\alpha_p = -17,4 \cdot 10^{-6} \text{ bar}^{-1}$

steht der niedrigste Temperatur-Widerstandskoeffizient aller untersuchten Werkstoffe $\alpha_T = 3 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ gegenüber.

Für die Herstellung von Temperatursensoren zeigt *Titan* mit einem Temperatur-Widerstandskoeffizienten $\alpha_T = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ und einem Druck-Widerstandskoeffizienten von $\alpha_p = -1,1 \cdot 10^{-6} \text{ bar}^{-1}$ sehr günstige Werte.

Neben den genannten physikalischen Eigenschaften müssen sich die Werkstoffe durch gute mechanische Eigenschaften auszeichnen. Härte und Verschleißfestigkeit stehen hierbei im Vordergrund, um den Belastungen im EHD-Kontakt standhalten zu können. Hohe Schmelztemperaturen sind notwendig, um kurzzeitige lokale Überhitzungen im Kontakt ertragen zu können. Eine gute Schichthaftung ist erforderlich, um Ablösungen und somit ein Versagen der Sensoren zu vermeiden.

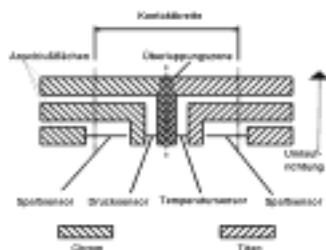
Die Spaltweitenmessung im EHD-Kontakt ist eine indirekte Messung und erfolgt nach dem kapazitiven Meßprinzip. Der Sensor auf der Oberfläche des einen Kontaktpartners bildet mit dem Gegenkörper und dem Schmierstoff als Dielektrikum (übernimmt die Funktion des Nichtleiters) einen Kondensator, dessen Kapazität der Schmier-spaltweite als proportional angesehen werden kann.

Die Anordnung des Sensorlayouts zeigt **Bild 1**. Durch eine Anordnung der Sensoren für Druck, Temperatur und Spalt nebeneinander ist eine Messung der 3 relevanten Kontaktgrößen gleichzeitig bei einem Kontaktdurchlauf möglich.

Das hier gezeigte Sensorlayout ist komplex, da eine gegenseitige Beeinflussung ausgeschlossen werden muß und zudem die verschiedenen Ge- ▶



Bild 1: Synchronmessung im EHD-Kontakt mit p-φ-h-Sensoren



chen Umfangskordinate wie die Druck- und Temperatursensoren ist erforderlich, um eine exakte Zuordnung der Signalverläufe sicherzustellen.

Die Anordnung von zwei Spaltsensoren symmetrisch zur Mittelebene bietet die Möglichkeit, durch unterschiedliche Verschaltung die Gebercharakteristik zu beeinflus-

sen. Zum einen kann durch Parallelschaltung der Sensoren ein Geber mit einer hohen Gesamtkapazität hergestellt werden, der eine hohe Meßgenauigkeit aufweist. Zum anderen können die Sensoren einzeln verschaltet werden, womit eine eventuelle Schiefstellung oder ein Kantentragen der Bauteile überprüft werden kann.

Durch die Herstellung einer Überlappungszone zwischen der Chrom- und der Titanschicht kann schließlich eine gemeinsame Rückleitung für die beiden resistiven Sensoren realisiert werden. Damit ist eine zentrale Anordnung der Druck- und Temperatursensoren an der Mittelebene des Kontakts möglich.

Zur Aufbringung der verschiedenen Funktionschichten auf der Bauteiloberfläche wird ein thermisches Widerstandsverdampfen, das im Hochvakuum arbeitet, eingesetzt. Der Vakuum-Rezipient hat ein Volumen von annähernd 200 Litern, um auch größere Substrate aufnehmen zu können. Die Aufdampfmateriale sind am Boden des Rezipienten angeordnet und als Verdampfungsquelle kommt Wolfram zum Einsatz.

Die Verdampfungsquelle wird mit einer Wechselspannung beaufschlagt, und durch die damit verbundene Erwärmung der Quelle verdampft Au und Ti bzw. sublimiert SiO und Cr deren Inhalt und kondensiert bzw. resublimiert an den kälteren

Einbauten des Rezipienten und des Substrates. Die Bedampfungstemperatur beträgt ca. 1500°C. Zur Grobevakuierung dient eine 2-stufige Drehschieberpumpe und zum Erzeugen des Feinvakuums (10⁻⁷ mbar) eine moderne Turbomolekularpumpe. Zur zerstörungsfreien online-Messung der entstandenen Schichtdicken ist in der Anlage ein Schwingquarz-Meßsystem integriert, das die Schichtdicke bei wachsender Eigenfrequenz des Schwingquarzes kontinuierlich erfassen kann.

Bild 2 zeigt eine Übersicht der aufgebauten PVD-Anlage.

Die Kalibrierung der Sensoren erfordert die Kenntnis des Druck- und Temperaturwiderstandsverhaltens des jeweiligen Sensors. Die Temperaturkalibrierung erfolgt an den vollständig strukturierten und kontaktierten Sensoren auf der Prüffrolle. Diese wird in einem Ölbad stufenweise erwärmt, und nach Erreichen einer stationären Temperatur kann der Widerstand ermittelt werden.

Die Druckkalibrierung erfolgt in einem temperierbaren Hochdruckautoklaven, in dessen Druckkammer über eine Hydraulikflüssigkeit Drücke von 14000 bar erzeugt werden können.

Da die Druckkammer nur sehr kleine Abmessungen aufweist, ist das Einbringen einer Prüffrolle nicht möglich. Daher werden bei jedem Beschichtungsvorgang gleichzeitig Kalibrierproben mitbeschichtet, die in unmittelbarer Nähe zur Prüffrolle angeordnet wurden. Dadurch ist sichergestellt, daß die Beschichtung der Proben unter den gleichen Randbedingungen erfolgt wie die Beschichtung der Prüffrolle selbst und daß Schichtdicke und Schichtbildungsmechanismen für alle Substrate eines Beschichtungsvorgangs identisch sind. So erreicht man, daß das Druck- und Temperaturwiderstandsverhalten der Schichten der Prüffrolle und der Kalibrierproben gleich sind.

Die Kalibrierproben werden in einer speziellen Spannvorrichtung in die Hochdruckkammer des Autoklaven eingesetzt.

Zur Erfassung der Kapazitätsänderung des Spaltweitensensors wird die Sensorkapazität mit einem parallelen Kalibrierkondensator zu einem Viertelzweig einer Übertrager-Meßbrücke verschaltet, die als Ausschlagbrücke im Trägerfrequenzmeßverfahren betrieben wird. Somit kann man eine bekannte Kapazitätsänderung einer Spannungsänderung zuordnen.

Bild 3 zeigt den Aufbau und das Funktionsprinzip des Prüfstands.

Die Zentralrolle mit dem Dünnschichtsensor ist von drei um 120° versetzt angeordneten Lastrollen umgeben. Der Antrieb der Zentralrolle erfolgt über eine Zahnriemenübersetzung durch einen Gleichstrommotor. Damit ist die Drehzahl der Zentralrolle frei einstellbar.

Der Antrieb der drei Lastrollen erfolgt über ein Verteilergetriebe durch einen Asynchronmotor. Damit ist die Übereinstimmung der Drehzahlen der Lastrollen gewährleistet.

Durch die voneinander unabhängigen Antriebe von Zentralrolle und Lastrollen sind in weiten Bereichen definierte Schlupfverhältnisse einstell-

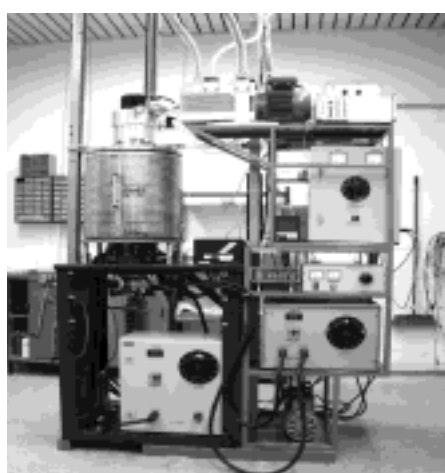
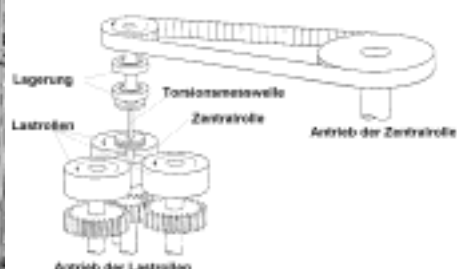


Bild 2: PVD-Anlage für thermisches Verdampfen

ber mit identischen Zustandsgrößen beaufschlagt werden müssen. Die Druck- und Temperatursensoren müssen daher spiegelbildlich zur radialen Mittelebene des Kontakts angeordnet sein. Die aktiven Geberbereiche müssen zentral zur Mittelebene liegen, um im Bereich der maximalen Kontaktbelastung Meßwerte aufnehmen zu können. Eine Anordnung des Spaltweitensensors auf der glei-



Bild 3: 4-Scheiben-Prüfstand für EHD-Messungen



bar. Damit ist eine Variabilität der hydrodynamisch wirksamen Geschwindigkeit möglich.

Die Lagerung der Lastrollen erfolgt über Hydrauliktaschen, über die die Lastaufbringung durch Drucköl erfolgt. Über Drosselsysteme ist eine symmetrische Belastung der Zentralrolle möglich.

Durch die symmetrische Lastaufbringung ist eine fliegende Lagerung der Zentralrolle möglich. Die Anordnung einer Torsionsmeßwelle unmittelbar vor der Zentralrolle macht somit eine direkte Messung des Reibmomentes in den EHD-Kontakten möglich, ohne daß ein Lagerreibungsmoment berücksichtigt werden muß.

Die Schmierstoffversorgung der Kontaktstellen erfolgt über Spritzdüsen, die radial zwischen den Lastrollen angeordnet sind und mit temperiertem Schmierstoff versorgt werden.

Die Schmierstoffversorgung ist mit einer Reihe von Feinfiltern versehen, die eine Reduzierung der im Ölstrom vorhandenen Verunreinigungen bis auf eine Partikelgröße von 1 µm sicherstellen.

Als Schmierstoff eingesetzt werden ein mineralölbasisches Mehrbereichsöl der Viskositätsklasse 15W40 mit relativ starker Druckabhängigkeit der Viskosität sowie ein vollsynthetisches Produkt 10W60 mit vergleichsweise höherer Ausgangsviskosität, die aber mit dem Druck weniger zunimmt. **Bild 4** zeigt die Viskositätskennfelder der beiden Öle.

Die **Bilder 5, 6 und 7** zeigen einige ausgewählte Synchronmessungen im EHD-Kontakt. Deutlich erkennbar ist der Temperaturanstieg bei Variation des Schlupfes in 5%-Schritten. Bei $s = 5\%$ erreicht die Temperatur eine Steigerung um $\Delta\vartheta = 6^\circ\text{C}$, bei $s = 10\%$ ergibt sich ein $\Delta\vartheta = 15^\circ\text{C}$ und schließlich bei $s = 15\%$ ein maximales $\Delta\vartheta = 22^\circ\text{C}$. Der hier ermittelte Maximaldruck im Kontakt lag bei ca. 7000 bar.

Bei den im Rahmen dieser Untersuchung durchgeführten Messungen wurden folgende Parameter variiert bzw. nachfolgende Ergebnisse ermittelt:

Aus den Synchronmessungen erhält man de-

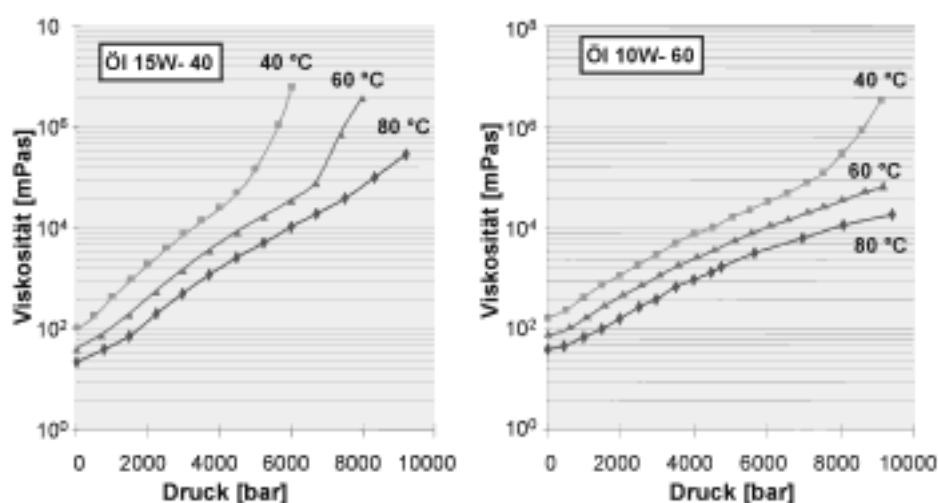


Bild 4: Viskositätskennfelder der Öle 15W-40 und 10W-60

taillierte Aussagen über die Auswirkungen der Einflußgrößen Druck, Temperatur, Schlupf und Last sowie der Schmierstoffeigenschaften auf die Ausbildung des Spalts im EHD-Kontakt.

Bild 8 zeigt die Temperaturerhöhung gegenüber der Rolltemperatur während des Kontaktdurchlaufs für unterschiedliche Belastungen über der Kontaktkoordinate. Deutlich erkennbar ist ein früher, steiler Anstieg der Temperatur, der auf eine Rückströmung des Schmierstoffs aus dem Kontaktbereich heraus zurückzuführen ist. Mit zunehmender Belastung tritt er früher auf. Das Maximum der

Temperaturerhöhung im Einlaufbereich liegt unmittelbar nach dem Wendepunkt des Druckanstiegs.

Danach sinkt der Druckgradient schnell ab, ►

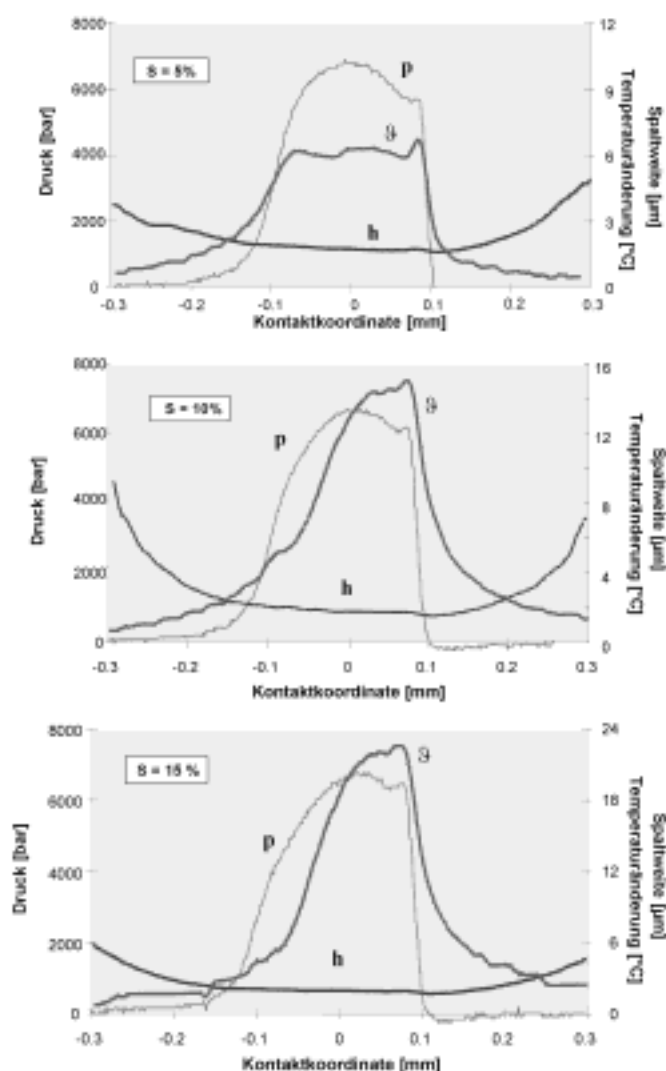


Bild 5 - 7: Synchronmessung Öl 15W-40 bei unterschiedlichem Schlupf

Eingabedaten:	
Öltemperatur	25 °C45 °C
Schlupf	015 %
Belastung	1.020 N ... 2.450 N
Mittlerer Rollendurchmesser	22 mm
Untersuchte Öle	15 W 40 und 10 W 60
Ergebnisse:	
Maximaler Kontaktdruck	12.200 bar
Max. Temperaturerhöhung	48 °C
Minimale Spaltweite	0,5 µm

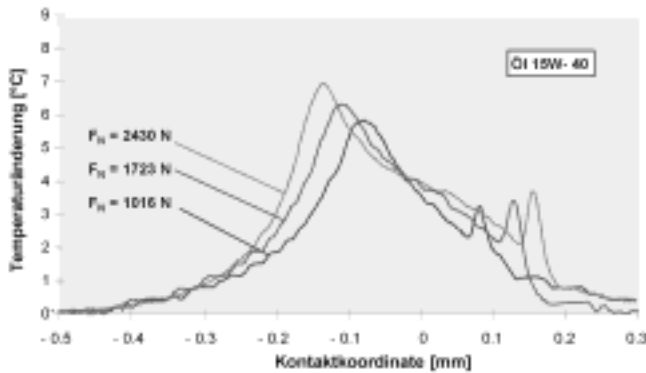


Bild 8: Einfluß der Belastung auf den Temperaturverlauf

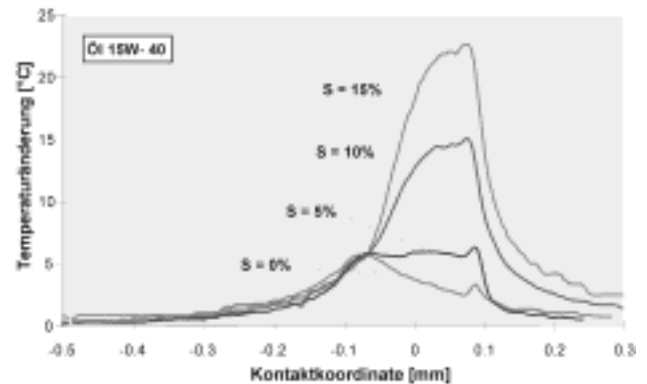


Bild 9: Temperaturverlauf bei niedriger Last und Schlupfvariation

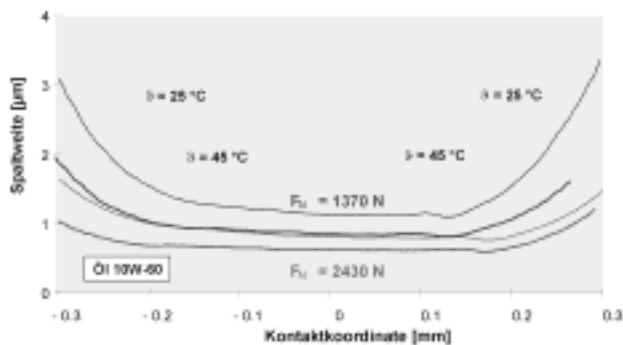


Bild 10: Spaltweite als Funktion von J und F

und das treibende Druckgefälle der Rückströmung reduziert sich. Die Scherung des Schmierstoffs und der damit verbundene Energieumsatz sinkt schnell ab, und es kommt zu keiner weiteren Erwärmung des Öls.

Im anschließenden Parallelspalte kommt es infolge des schlupffreien Laufs der Rollen lediglich zu einem niedrigen Energieumsatz durch Rollreibung und einem sehr geringen Anteil an Kompressionswärme. Die nahezu parallele Spaltkontur und der Gleichlauf der Rollen erzeugen ein rechteckförmiges Geschwindigkeitsprofil, das keine weitere Scherung des Öls erzeugt. Das führt zu einer Abkühlung des Öls durch Wärmeleitung in die Kontaktpartner.

Am Ende des Parallelspaltes kommt es zu einer Spalteinschnürung, die aus Kontinuitätsgründen zu einer starken Erhöhung des Schergefälles führt. Damit verbunden ist ein erneuter rascher Temperaturanstieg. Nach diesem zweiten Temperaturanstieg kommt es zu einem steilen Abfall des Drucks. Durch diese starke Expansion sinkt die Temperatur sehr schnell auf das ursprüngliche Niveau der Rolltemperatur ab.

Bei Einsatz des vollsynthetischen Schmierstoffes ist der Temperaturverlauf qualitativ ähnlich, jedoch treten in der Einlaufzone höhere Temperaturen auf als beim mineralischen Schmierstoff. Dies kann auf die höhere Grundviskosität des synthetischen Schmierstoffes zurückgeführt werden, da im Einlaufbereich noch kein Druckeinfluß auf die Schmiermittelviskosität vorliegt. Der Temperaturabfall im Bereich des Parallelspaltes ist weniger stark ausgeprägt; somit ist der Temperaturgradient hier kleiner.

Folgende thermische Effekte können die Temperaturverteilung im Schmier-spalt überlagernd beeinflussen:

- Wärmeeintrag durch Scherung des viskosen Mediums
- Wärmeleitung in die umgebenden Bauteile
- Wärmeeintrag durch Kompression des Fluids
- Wärmeabfuhr durch Expansion des Fluids

Kompression und Expansion sind von geringerem Einfluß. Entfällt jedoch, wie im Bereich des Parallelspaltes bei schlupffreiem Lauf, der Anteil der Scherung des Fluids, so gewinnen die übrigen Anteile der Wärmebilanz an Bedeutung. Der Temperaturabfall wird somit bestimmt von der Wärmeleitung in die umgebenden Bauteile sowie durch den kleineren Anteil der Kompression des Öls.

Entsprechend der Energiegleichung für den EHD-Kontakt ist die Kompressionswärme abhängig vom Druckgradienten, der lokalen Dichte und dem Temperatur-Dichte-Verhalten des Öls. Sie ist proportional zum Kehrwert der Dichteänderung über der Temperatur, wodurch ein Fluid mit einer geringen Dichteabhängigkeit von der Temperatur bei sonst gleichen Druckbedingungen einen größeren Wärmeeintrag durch Kompression erfährt.

Bei den hier durchgeführten Messungen zeigt das vollsynthetische Öl eine größere Temperaturstabilität, so daß der Wärmeeintrag durch Kompression hier größer ist und damit der Temperaturabfall im Bereich des Parallelspaltes nicht so ausgeprägt.

Bei Verwendung des synthetischen Schmierstoffes fällt der Temperaturanstieg im Bereich des Parallelspaltes durch Scherung des Öls vergleichsweise gering aus. Die Maximaltemperaturen bleiben deutlich unter den Werten der Messungen mit dem mineralischen Öl. Auch hier zeigt sich der Einfluß der lokalen Viskosität im Kontakt. Der Viskositätsanstieg infolge des vorherrschenden Drucks ist beim synthetischen Schmierstoff

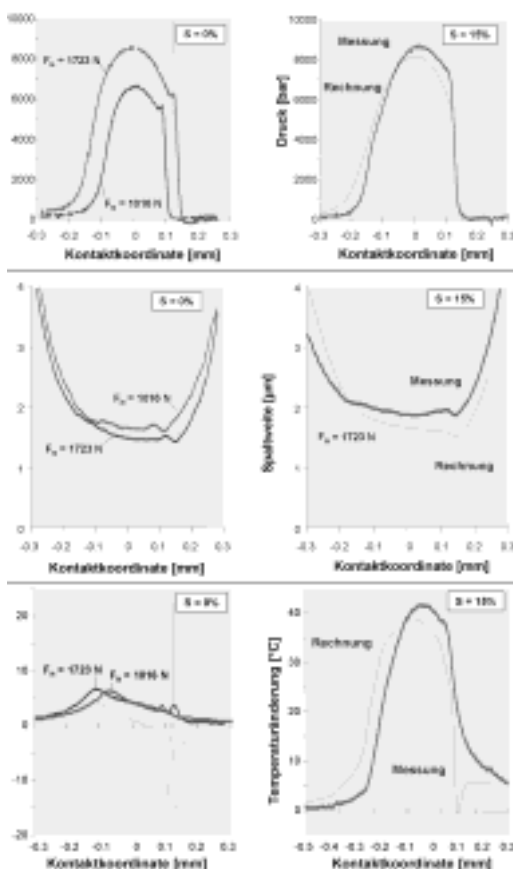


Bild 11: Analogie EHD Messung – EHD Rechnung

geringer, wodurch niedrigere Schubspannungen im Kontakt entstehen und somit ein geringerer Temperaturanstieg stattfindet. Der Temperaturanstieg im Bereich der Spalteinschnürung verschwindet mit steigendem Schlupf zunehmend. Die nur geringe Viskositätsveränderung durch den Druck und die Absenkung der Viskosität infolge des Temperaturanstiegs scheinen den Einfluß der Einschnürung aufzuheben.

Bild 10 zeigt den Spaltweitenverlauf bei schlupffreier Messung und Last- sowie Temperaturvariation. Mit steigender Temperatur kommt es erwartungsgemäß zu geringeren Spaltweiten. Beim synthetischen Schmierstoff verringert sich die Spaltweite aufgrund der größeren Viskositäts-Temperaturstabilität um ca. 30%, beim mineralischen Öl (hier nicht dargestellt) hingegen um ca. 40 bis 50%.

Bild 11 zeigt einen Vergleich von durchgeführ-

ten Messungen am Vierscheiben-Prüfstand und ausgeführten Berechnungen (Druck-, Spalt- und Temperaturverlauf).

Das zum Einsatz gekommene EHD-Simulationsprogramm dient zur numerischen Berechnung hoch- und höchstbelasteter Gleit-Wälzkontakte unter Berücksichtigung der Temperaturentwicklung in der Kontaktzone. Es basiert auf der Lösung der Reynolds-DGL in Kombination mit der Elastizitätsgleichung. Das Programm rechnet nicht-isotherm und berücksichtigt die Wärmeerzeugung durch Scherung sowie den Einfluß der Kompressionswärme im Fluid. Als Ergebnis erhält man Druck-, Temperatur- und Spaltverlauf über der Kontaktlänge.

Das EHD-Simulationsprogramm kann auf eine Datenbank mit den rheologischen Eigenschaften (dynamische Viskosität $\eta = f(\vartheta, p)$, Dichte $\rho = f(\vartheta, p)$, absolute und relative Dielek-

trizitätskonstante $\epsilon_o, \epsilon_r = f(\vartheta, p)$ im Temperaturbereich bis $\vartheta = 130^\circ\text{C}$ und im Druckbereich bis $p = 14000\text{ bar}$) von derzeit 58 Schmierstoffen zugreifen.

Prof. Dr.-Ing. Hubert Schwarze

Dr. rer.nat. Ludwig Brouwer

*Institut für Tribologie und
Energiewandlungsmaschinen*

Leibnizstraße 32

38678 Clausthal-Zellerfeld

Tel.: 0 53 23/72-24 64 (Schwarze)

0 53 23/72-26 76 (Brouwer)

Fax: 0 53 23/72-26 17

Die Kontroverse um den Umgang mit Suchtmitteln, insbesondere solchen, die den Konsumenten Rauschzustände vermitteln, ist wahrlich ein gesellschaftspolitischer Evergreen. Im Spannungsfeld zwischen moralischen Wertvorstellungen und nüchternen Wirkungsanalysen ist es bis heute nicht gelungen, einen drogenpolitischen Konsens zu finden. Gleichwohl herrscht über die wesentlichen Ziele der Drogenpolitik weitgehend Übereinstimmung: Körperliche (und psychische) Abhängigkeit von Suchtmitteln sollen so weit wie nur irgend möglich verhindert werden, um den Menschen ein bewußtes und selbstbestimmtes Leben zu ermöglichen.

Natürlich erstreckt sich das Problem der Drogenabhängigkeit nicht nur auf die tragischen Lebensläufe der unmittelbar Betroffenen, sondern es beinhaltet auch die mittelbaren Wirkungen des Rauschgiftkonsums auf Nichtsüchtige, die in der ökonomischen Theorie als „externe Effekte“ bzw. „Externalitäten“ bezeichnet werden. Prinzipiell lassen sich zwei Gruppen solcher Externalitäten bilden. Zum einen sind Auswirkungen vorhanden, wie sie auch beim Konsum mancher legaler Drogen (z.B. Alkohol) auftreten. Zum anderen lassen sich mittelbare Einflüsse erkennen, die nur bei den verbotenen Suchtmitteln auftreten. Einige wichtige Beispiele für die Externalitäten der ersten Gruppe sind die folgenden: Tendenziell sinkt im Rausch die Reizschwelle der Betroffenen, was häufig zu einer verstärkten Gewaltbereitschaft führt. Es gibt wohl unzählige Fälle, in denen ein sich im (Alkohol- oder sonstigen Drogen-) Rausch Befindlicher seine Familie, seinen Bekanntenkreis oder die sonstige Umwelt tyrannisiert. Des weiteren sinkt nach erfolgter Drogeneinnahme die Verkehrstüchtigkeit. Auch hier wirkt die gesunkene Reizschwelle – via verlangsamter Reaktionen und

risikofreudigeren Fahrens – auf die Umwelt ein. In einer Studie der Stadt New York für den Zeitraum von 1984 bis 1987 ergab sich etwa, daß in 20 Prozent aller Verkehrsunfälle mit Todesfolgen Personen beteiligt waren, die in den letzten 48 Stunden Kokain zu sich genommen hatten.

Besonders tragisch wirkt sich der Suchtmittelkonsum bei schwangeren Frauen auf ungeborene Kinder aus. Neugeborene süchtiger Mütter weisen eine höhere Sterblichkeit auf, werden häufig schon selbst drogenabhängig geboren und scheinen tendenziell weniger intelligent zu sein. Drogensüchtige verursachen darüber hinaus höhere Krankenversicherungskosten, da der Körper bei häufigem Konsum Schäden davonträgt und Entziehungskuren finanziert werden müssen. Nicht selten verringert die regelmäßige Drogeneinnahme auch die Leistungsfähigkeit der Betroffenen und damit auch deren (legale) Einkommenserwerbsfähigkeit. Auf diese Weise belasten sie dann zunehmend die Sozialversicherungseinrichtungen, die durch die Beitragszahler finanziert werden.

Die Eindämmung der Dynamik illegaler Drogenmärkte

Eine ökonomische Betrachtung

Von Mathias Erlei

Die zweite Gruppe mittelbarer Wirkungen auf Nichtabhängige entsteht primär im Fall verbotener Suchtmittel: Aufgrund der hohen Preise für die Rauschgifte sind viele Süchtige gezwungen, mittels Prostitution neue Einnahmequellen zu erschließen. Häufig bleibt jedoch die gesundheitsamtliche Überwachung entweder sehr unvollständig oder erfolgt überhaupt nicht. Somit wird die Übertragung von Krankheiten, insbesondere auch die von AIDS, unterstützt. Eine weitere Folge der hohen Preise ist die Beschäftigungskriminalität. Ist das private Vermögen erst einmal verbraucht und ein normaler Einkommenserwerb nur unzureichend oder gar nicht mehr möglich, so bleibt vielen nur noch die Möglichkeit des Diebstahls, Einbruchs, Überfalls oder des Handelns mit Drogen. Solche Handlungen gehen natürlich abermals auf Kosten der Nichtsüchtigen, d.h. der Bestohlenen, Überfallenen oder deren Versicherungen. Die Betätigung als Dealer fördert die unerwünschte Verbreitung des Drogenkonsums. Ein drittes Problem stellt die Seuchenübertragung mittels gemeinsamen Nutzens von Spritzen dar. Es ist allgemein bekannt, daß insbesondere ►

Rauschgiftsüchtige eine der Hauptrisikogruppen für AIDS darstellen.

Es herrscht ebenfalls Konsens darüber, daß auch die externen Effekte des Drogenkonsums weitestgehend vermieden (eigentlich internalisiert, was nicht ganz dasselbe ist) werden sollen. Heftig umstritten ist nur der Weg, wie die bekundeten Ziele bestmöglich erreicht werden können. Es ist kein Geheimnis, daß die etablierte Form der Drogenpolitik, die simple Prohibition im Verbund mit weitreichendem Polizeieinsatz, wenig erfolgreich ist. Damit stellt sich die Frage nach Alternativen. Im folgenden soll unter Zuhilfenahme der ökonomischen Theorie zunächst das Scheitern der Prohibitions politik erklärt werden. Anschließend wird argumentiert, daß auch die übliche ökonomische Argumentation einen wichtigen Aspekt vernachlässigt, nämlich das Bedürfnis der Menschen nach einem institutionalisierten (Selbst-) Schutz vor dem Kontakt mit Drogen. Anschließend wird ein Reformvorschlag skizziert, der sowohl die Probleme der Dynamik illegaler Märkte berücksichtigt als auch den Gesichtspunkt des institutionalisierten Selbstschutzes.

Probleme der naiven Prohibitions politik

Es ist offensichtlich, daß ein einfaches Verbot des Handels und/oder des Konsums von Rauschgiften diese Aktivitäten nicht unmittelbar und vollständig beseitigen kann. Man denke nur an die Zeiten der amerikanischen (Alkohol-) Prohibition. Im Grunde werden nur die (Risiko-) Kosten der Anbieter in Form drohender Gefängnisstrafen und moralischer Bedenken erhöht. Dies führt im allgemeinen zum Marktaustritt risikoscheuer und gesetzestreuer Anbieter. Es verbleiben diejenigen, die risikofreudig sind und denen keinerlei ethische Prinzipien im Wege stehen. Eine derartige Verringerung der Anbieterzahl stellt eine Monopolisierung des illegalen Rauschgiftmarktes dar. Tatsächlich entwickeln sich im allgemeinen Gebietsmonopole sowie auch enge Oligopole und Anbieterkartelle. In monopolistischen Märkten ist es den Anbietern möglich, die Preise über das wettbewerbliche Konkurrenzniveau hinaus zu erhöhen, was zu höheren Unternehmensgewinnen führt. Dies gilt umso mehr, als süchtige Nachfrager nach Drogen über keine Möglichkeiten der Konsumverlagerung verfügen. Steigt etwa der Preis für Äpfel, so werden viele Konsumenten hierauf mit einer Verringerung des Apfelkonsums zu Gunsten des Konsums anderer Früchte reagieren. Nicht so auf dem Markt für illegale Drogen. Drogenabhängige Konsumenten können nicht einfach auf andere Suchtmittel (etwa Alkohol) ausweichen, sondern werden derartige Preiserhöhungen, soweit sie irgendwie finanzierbar sind, akzeptieren. Ökonomen sprechen in diesem Zusammenhang von einer unelastischen Nachfrage. Eine solche Inelastizität ermöglicht es den Monopolisten, die Preise ungewöhnlich stark zu erhöhen,

ohne dabei erhebliche Nachfrageeinbußen zu erleiden, so daß die Gewinne schwindelerregende Höhen erreichen können.

Darüber hinaus ist häufig auch eine sogenannte Preisdifferenzierung möglich. Hierunter versteht man, daß ein Anbieter nicht etwa nur einen einheitlichen Monopolpreis am Markt durchsetzen kann, sondern allen Nachfragern gemäß ihrer individuellen Zahlungsbereitschaft Preise diktiert. Dealer kennen üblicherweise die Lebensumstände ihrer Kundschaft recht gut und sind somit in der Lage, deren Zahlungsmöglichkeiten zuverlässig einzuschätzen. So wird ein wohlhabender Nachfrager in der Anfangsphase seiner Sucht seiner Zahlungsbereitschaft entsprechende Preise zahlen müssen. Bei typischerweise nur unwesentlich vom Preis abhängiger Nachfrage führt dies zu sehr hohen Preisen. Hat er dann später sein Vermögen verloren, so muß er sich neue Einnahmequellen verschaffen. Diese bestehen häufig in der Prostitution und der Kriminalität. Seine Zahlungsfähigkeit wird vermutlich immer weiter absinken, der Dealer seine Preisforderung entsprechend anpassen und somit bis zum Ende den letzten Pfennig aus seinem Opfer herauspressen. Auf diese Weise läßt sich das Gewinnpotential erneut wesentlich erhöhen. Auf allen Handelsstufen erfolgt eine Vervielfachung des Preises. Allein auf der letzten Handelsstufe (vom Importpreis zum Straßenverkaufspreis) schätzt man für Anfang der Neunziger Jahre eine Versechsbis Verzehnfachung des Preises. Es gibt wohl nur wenige Märkte, die auch nur ansatzweise vergleichbare Gewinnmargen aufweisen.

Die hohen Gewinne an sich stellen aus volkswirtschaftlicher Sicht jedoch allenfalls ein Verteilungsproblem dar, das hier nicht weiter berücksichtigt werden soll. Viel wichtiger ist jedoch, daß sie eine höchst unerwünschte Marktdynamik erzeugen. Insbesondere liefern sie extreme Anreize, den Markt auszudehnen, d.h. neue Kunden zu werben. In Anbetracht der hohen Handelsspannen lohnt es sich, Drogen an Erstkonsumenten zu verschenken. Unterstellt man etwa eine Versechsfachung des Preises auf der letzten Stufe, so reicht es aus, wenn nur jeder fünfte Kunde nach dem Gratiserstkonsum später eine einzige Einheit käuflich erwirbt. Berücksichtigt man, daß eine Reihe von Drogenkonsumenten später täglich konsumieren, so kann der Händler seine Investitionskosten schon nach einem Jahr zurückerwirtschaften, wenn nur jeder eintausendachthundertfünfzigste Erstkonsument zum Dauerkunden wird! Mitunter wird das Rauschgift einem Erstkonsumenten sogar gegen dessen eigenen Willen aufgezwungen. Diesen Überlegungen entsprechend sollte

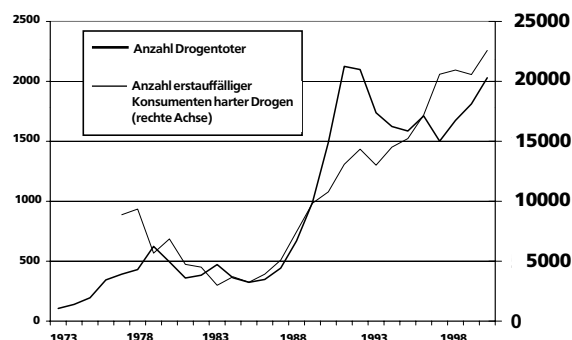


Bild 1: Indikatoren für die Größe des illegalen deutschen Drogenmarktes

(Quelle: Bundeskriminalamt, Polizeiliche Kriminalstatistik, laufende Jahrgänge)

sich die illegale Betäubungsmittelbranche als florierender Wachstumsmarkt präsentieren, was **Bild 1** bestätigt.

Die ungünstige Anreizstruktur einer einfachen Drogenprohibition, wie sie gegenwärtig praktiziert wird, führt mithin zu einer Ausdehnung des illegalen Drogenmarktes und damit zu einem permanent sinkenden Zielerreichungsgrad der Drogenprohibition an sich. Diese Marktdynamik bildet den eigentlichen Kern des aktuellen Drogenproblems!

Das Selbstschutzmotiv

Akzeptiert man die Argumentation, daß die hohen Monopolgewinne zu einer Ausdehnung des illegalen Marktes führen, so besteht ein denkbarer Lösungsansatz darin, die Märkte für solche Rauschgifte einfach freizugeben, zu liberalisieren. Konkurrenz würde dann zwar zu sinkenden Marktpreisen führen, was tendenziell den Drogenkonsum erhöhen würde, jedoch wäre es nun nicht mehr wirtschaftlich, Drogen zum Erstkonsum zu verschenken. Tatsächlich fordern eine Vielzahl von Ökonomen, unter ihnen die Nobelpreisträger Milton Friedman (1991/1992) und Gary Becker (mit K. Murphy, 1988), genau dieses. Sie gehen sogar noch weiter: Dem ökonomischen Grundmodell entsprechend wird angenommen, daß eine gezielte Aufklärung der Menschen ausreicht, um potentielle Fehlentscheidungen zu vermeiden. Gemäß dem Postulat der uneingeschränkten Konsumentensouveränität können die Individuen selbst am besten einschätzen, ob ein Konsum harter Drogen für sie von Vorteil ist oder nicht. Im Kern sagen sie nichts anderes, als daß sich der Markt für (derzeit) illegale Drogen nicht fundamental von anderen Gütermärkten unterscheidet. Da sich der freie Markt für letztere als sehr wirksame und segensreiche Einrichtung erwiesen hat, dürfte dies auch für erstere gelten.

Trotz der Vielzahl prominenter Fürsprecher wurden die Märkte für harte Drogen dennoch nicht liberalisiert. Sind etwa die Politiker und die Wähler einfach nur zu dumm, die Argumente der Öko- ▶

nomen zu verstehen? Ich glaube, dies ist nicht der Fall. Im Gegenteil: M.E. akzeptieren die meisten Bürger die oben angeführte Argumentation sogar weitestgehend. Das Problem liegt vermutlich eher auf Seiten der Ökonomen; denn sie haben lange Zeit das Selbstschutzbedürfnis der Bürger übersehen! Grundlage der orthodoxen Nationalökonomie ist die Annahme eindeutiger, wohlgeordneter und widerspruchsfreier Vorlieben und Wertschätzungen der Individuen für Güter, Dienstleistungen, Handlungen und Zustände, im Fachjargon Präferenzen genannt. Diese Annahme erweist sich in den meisten Fällen als sinnvoll und sehr fruchtbar. Nicht so in der Drogenproblematik. Schon durch eine einfache Modifikation lassen sich weitreichende neue Einsichten ableiten (vgl. Erlei, 1992).

Wie schon in Elster (1984) lassen sich zwei verschiedene Arten von Präferenzen unterscheiden. Zum einen werden reflektive Präferenzen angeführt. Diese sind gewissermaßen Wertschätzungen, die ein Mensch empfindet, wenn er sich unabhängig von sofort folgenden Handlungen Gedanken darüber macht, was er eigentlich als wünschenswerte Handlungen und Zustände einschätzt, wie z.B.: „Ich möchte morgens früh aufstehen, damit ich den folgenden Tag möglichst gut nutzen und engagiert arbeiten (oder lustvoll faulenzen) kann.“ Zum anderen gibt es Präferenzen, die in Bezug zu einer unmittelbar folgenden Handlung stehen. Klingelt z.B. der Wecker in der Frühe, so könnten sich die dann aktuellen Vorlieben für ein frühzeitiges Aufstehen durchaus von den reflektiven Präferenzen unterscheiden. In diesem Fall spricht man dann von Marktpreferenzen. Stehen reflektive und Marktpreferenzen im Widerspruch zueinander, ist es sehr gut möglich, daß eine Handlungsentscheidung zu Gunsten der letzteren erfolgt (man bleibt also liegen) und die betreffende Person ihre Handlungsweise später (z.B. schon am selben Nachmittag) bereut. Um solche Ergebnisse zu umgehen, kann der ambitionierte Morgenmuffel seinen Entscheidungsspielraum im vornherein einschränken. Z.B. könnte er seinen (besonders lauten) Wecker in ausreichender Entfernung vom Bett platzieren, so daß er sich schon erheben muß, um die Lärmquelle zu beseitigen. Dieser selbst auferlegte Zwang zum Aufstehen mag ihm helfen, sein Entscheidungsproblem befriedigend zu lösen. In genau diesem Sinne ließ sich Odysseus an den Mast seines Schiffes binden. Auf diese Weise nahm er sich selbst die Möglichkeit zu unerwünschten Handlungen und konnte trotzdem den Sirenen zuhören, ohne seine Zukunftspläne zu gefährden. Andere, weniger spektakuläre Formen einer solchen strategischen Selbstbindung sind z.B. hohe Wetteinsätze, um sich das Rauchen abzugewöhnen oder andere kostspielige verbindliche Zahlungsverpflichtungen für das Nichteinhalten eines Versprechens.

Die Übertragung auf die Drogenproblematik liegt auf der Hand: Personen, die Angst vor

falschen Entscheidungen im Fall eines Angebotes von Rauschgift empfinden, versuchen, sich durch ein gesetzliches Verbot des Drogenbesitzes vor dem Kontakt mit Drogen zu schützen. Sie befürworten Gesetze, die den Handel mit bestimmten Suchtmitteln untersagen, um zu verhindern, daß sie selbst oder Angehörige ihrer Familie in Versuchung geraten, Rauschgifte einzunehmen. Es handelt sich in diesem Fall um eine reine Selbstschutzmaßnahme und nicht um die fürsorgliche Besorgnis um anonyme potentielle Opfer aus anderen Kreisen. Nur so ist es m.E. zu verstehen, daß sich die deutliche Mehrheit der Bürger mit so großem Engagement Reformen verweigert. Es sind vor allem direkte persönliche Kosten, die sie befürchten und weniger das Wohlergehen ihnen völlig fremder Menschen, das sie leidet. Somit erscheint eine völlige Liberalisierung des Drogenmarktes derzeit weder politisch durchsetzbar noch gesellschaftspolitisch wünschenswert!

Andererseits sollte aus den Ausführungen zur Ausweitungsdynamik des illegalen Marktes für Rauschgifte klar geworden sein, daß die derzeitige gesetzliche Regelung und Handhabung des Problems zur Aushöhlung der damit ursprünglich verfolgten Ziele führt. Der illegale Drogenmarkt wird sich weiterhin ausdehnen und die Selbstschutzfunktion, die die Bürger sich wünschen, wird in immer schlechterer Weise erfüllt werden. Stehen wir somit vor einem unlösbaren Dilemma? Glücklicherweise ist dies nicht der Fall, wie im folgenden zu zeigen versucht wird.

Ein Reformvorschlag

Eine m.E. funktionsfähige Lösung besteht aus einer zweifachen Spaltung des Rauschgiftmarktes: Auf der Angebotsseite bietet der Staat bereits Süchtigen Drogen zu Kostenpreisen an, während es allen Privatpersonen weiterhin gesetzlich untersagt bleibt, Drogen zu verkaufen. Auf der Nachfrageseite gilt, daß nur bereits drogenabhängige Personen bzw. Individuen, die sich als solche zu erkennen geben, vom Staat bedient werden. Andere Nachfrager werden hingegen nicht bedient. Der Umstand, daß nichtsüchtige Nachfrager keine Drogen vom Staat erhalten, und das Verbot privaten Drogenhandels erfüllen die Selbstschutzfunktion, die die Bürger vom Gesetz erwarten. Auf der anderen Seite verändert das staatliche Drogenangebot an Süchtige die Marktstruktur grundlegend. Ein zu Kostenpreisen anbietender Staat wird den überragenden Teil der Nachfrage auf sich ziehen können und damit den illegalen Drogenhändlern den größten Teil des gegenwärtigen Gewinnpotentials nehmen. Selbst wenn der Staat höhere Kosten aufweisen sollte als die Drogensyndikate, so verhindert er in jedem Fall Monopolpreissetzung und vor allem auch die Möglichkeit der perfekten Preisdifferenzierung. Die Anreize zur Marktausdehnung werden mithin drastisch reduziert. Kann der Staat sogar kostengünstiger anbieten, z.B. weil er nicht illegal agieren muß

Anbieter \ Nachfrager	Süchtige	Nichtsüchtige
	Staat	ILLEGAL
Private Anbieter	ILLEGAL	ILLEGAL

Bild 2: Transaktionsrechte im Reformmodell

und somit geringere Risikokosten hat, so bleiben den Privatanbietern nur die Nischenmärkte für Erstkonsumenten und für die wenigen Nachfrager, die trotz hoher Preisdifferenzen lieber anonym bleiben und deshalb auf dem illegalen Markt kaufen wollen. Der Markt für Erstkonsumenten, insbesondere der für zahlungsschwache jugendliche (!!) Erstkonsumenten, dürfte kaum noch rentabel sein, da die Gefahr einer Abwanderung zum staatlichen Angebot sehr groß ist. Dem Antriebsmotor der Ausweitungsdynamik des schwarzen Drogenmarktes würde somit gewissermaßen der Brennstoff entzogen. Der verbleibende Nischenmarkt für anonymen Konsum wird voraussichtlich nicht sehr groß ausfallen. Beides zusammen, der Zusammenbruch des Erstkonsumentenmarktes und die Schrumpfung des illegalen Marktes auf die Nische für anonymen Konsum, induziert eine erheblich bessere Erfüllung der Selbstschutzfunktion der Bürger, da die Preise für den Erstkonsum ansteigen werden und die Anzahl der Anbieter bzw. Dealer im Zeitablauf deutlich abnehmen wird.

Zur Sicherung der Funktionsfähigkeit des hier präsentierten Reformvorschlages müssen jedoch zwei weitere Bedingungen erfüllt sein: (1) Damit die vom Staat erworbenen Drogen nicht (durch illegale Händler) weiterverkauft werden können, sind sie direkt nach dem Kauf unter Aufsicht eines Arztes oder Apothekers vollständig einzunehmen. (2) Grundsätzlich dürfen nur der Verkauf und der Besitz (d.h. die Möglichkeit des Verkaufs) von Rauschgiften unter Strafe gestellt werden, die Einnahme von Suchtmitteln hingegen nicht. Süchtige werden sich schließlich nur dann an den Staat als Anbieter wenden, wenn dieser ihnen keine Strafen androht. Die Neuregelung läßt sich somit wie in **Bild 2** dargestellt zusammenfassen.

Der Reformansatz wirkt sich auch auf eine Reihe von externen Kosten des illegalen Drogenmarktes vorteilhaft aus. Aufgrund der geringeren Preise werden Süchtige nicht mehr in Beschaffungskriminalität und Prostitution gedrängt. Dies hilft zum einen den Süchtigen, die nunmehr ein weitgehend normales Leben führen können. Zum anderen profitieren jedoch auch die Nichtsüchtigen von einer geringeren Beschaffungskriminalität: Sie werden weniger häufig ausgeraubt, sie werden entsprechend weniger Vorkehrungen treffen und gegebenenfalls auch geringere Versicherungsbeiträge zahlen müssen. Die kontrollierte Einnahme der ▶

Suchtmittel verhindert darüber hinaus Krankheits- bzw. Seuchenübertragungen, was sich insbesondere im Hinblick auf die AIDS-Problematik als wichtig erweist.

Natürlich werden nicht alle Externalitäten des Drogenkonsums beseitigt. Das Absinken der Reizschwelle, die verminderte Verkehrstüchtigkeit und berufliche Leistungsfähigkeit sowie die Auswirkungen auf ungeborene Kinder bleiben erhalten. Man beachte jedoch, daß diese Wirkungen auch bei den legalen Rauschmitteln, insbesondere dem Alkohol, auftreten und von der Gesellschaft (in Grenzen) toleriert werden.

Es soll noch einmal hervorgehoben werden, daß die Legitimation einer Drogenprohibition in der soeben beschriebenen Form nur durch das Selbstschutzbedürfnis der Bürger erfolgen kann. Dies bedeutet, daß eine solche Regelung natürlich auch von einer Mehrheit (möglicherweise auch einer qualifizierten Mehrheit) der wahlberechtigten Bürger unterstützt werden muß. Der Staat darf hier nicht als Vormund seiner Bürger, sondern nur als Ausführungsorgan des Mehrheitswillens tätig sein. So ist es etwa denkbar, daß eine derartige Institutionalisierung der Drogenpolitik dauerhaft von der übertragenden Mehrheit der Wahlberechtigten getragen wird. Es sind jedoch auch andere langfristige Szenarien vorstellbar. Die Reform könnte der Suchtproblematik ihre dunkelsten Seiten nehmen, so daß die Bürger ihr Selbstschutzbedürfnis später nicht mehr so wertschätzen und der Drogenmarkt vollständig liberalisiert würde.

Des weiteren kann – falls die Bürger dies wünschen – auch eine Trennung der rechtlichen Stellung verschiedener Drogen vorgenommen werden. Cannabisprodukte, wie z.B. Haschisch, machen bekanntermaßen nicht körperlich abhängig. Ihre Gefahr wird im allgemeinen in ihrer Rolle als Einstiegsdrogen gesehen. Doch auch dieser Aspekt ist heftig umstritten. Es wäre grundsätzlich vorstellbar, daß im Lauf der Zeit einige „weiche“ Drogen freigegeben werden, falls das Selbstschutzbedürfnis der Mehrheit sich dann auf andere Suchtmittel beschränkt. Dies ist derzeit jedoch sicher nicht in Sicht.

Ausblick

Im Anschluß an die Darstellungen der theoretischen Vorzüge des obigen Reformvorschlages stellt sich nun die Frage nach den praktischen Erfahrungen mit solchen oder ähnlichen Liberalisierungsversuchen. Zwar sind diese sehr begrenzt, doch scheinen alle Indikatoren die Vorzüge einer Reform zu bestätigen. Zwei Beispiele: Im Jahr 1985 hat die Stadt Liverpool eine Versorgung von Süchtigen mit harten Drogen eingerichtet. In der Folgezeit war der Drogenkonsum eindeutig rückgängig. Auch die niederländischen Erfahrungen mit einer faktischen Legalisierung der weichen

Droge Haschisch geben keine Anhaltspunkte für eine Ausweitung des Drogenkonsums. In Anbetracht der verheerenden Ergebnisse der „etablierten“ Drogenpolitik, d.h. der Verschärfung von Gesetzen oder Ausdehnung des Polizeiapparates, sind die vorliegenden Ergebnisse zumindest verheißungsvoll. In jedem Fall sollten sie uns zu denken geben.

Ein wichtiges Problem von (Teil-) Liberalisierungen besteht in ihren Wirkungen nach außen: Ein für Rauschgiftabhängige attraktives Umfeld wirkt als Magnet für Süchtige aus anderen Ländern. Dieses Problem erwies sich insbesondere im Fall der niederländischen Drogenpolitik als bedeutungsvoll. Da ein Zulauf größeren Ausmaßes auch beachtliche (externe) Kosten nach sich ziehen kann, ist prinzipiell eine europäische Regelung anzustreben. Doch wenn ein solches Szenario gegenwärtig auch utopisch erscheint, so wäre selbst im Fall einer isolierten Reform auf deutscher Ebene der Nettoeffekt voraussichtlich klar positiv.

Ein noch ungelöstes Problem stellt die politische Durchsetzbarkeit des Vorschlags dar. Lange Zeit wurde die politische Diskussion aus zwei einander gegenüberstehenden Lagern heraus geführt, die sich wenig aufeinander zubewegt haben. Während die Anhänger einer strikten Prohibition sich eher auf nicht-ökonomische Argumente konzentrieren, ignorieren die Befürworter einer (Teil-) Liberalisierung das hier so stark betonte Selbstschutzmotiv der Menschen. Wenngleich die sachlichen Unterschiede in Fachkreisen nicht mehr so groß erscheinen, könnte ein groß angelegtes Reformprojekt heute nach wie vor durch die jeweiligen Oppositionsparteien wahlkampfaktisch ausgenutzt werden, da die Sachargumente noch immer wenig Verbreitung gefunden haben und das Thema darüber hinaus stark emotionalisierbar ist. Wenn jedoch eine engagierte Aufklärungspolitik deutlicher die bessere Erfüllung der Selbstschutzfunktion bei reformierter Drogenpolitik hervorhebt, so ist ein Ausweg aus der Sackgasse ständiger Verschärfung der Gesetze und des erfolg- und phantasielosen Ausbaus des Polizeinetzes in Reichweite.

Im Februar 1992 formulierte die Zweite Kleine Strafkammer des Lübecker Landgerichtes ein „Recht auf Rausch“. Doch muß m.E. neben das Recht auf Rausch gleichberechtigt das Recht auf Selbstschutz gestellt werden. Wenn zudem dieses Recht auf Selbstschutz besser durch die staatliche Versorgung der Süchtigen mit Drogen gewährleistet wird, so wird damit (fast) allen gedient: Süchtige werden nicht mehr an den Rand der Gesellschaft gedrängt, Nichtsüchtige erleiden ein geringeres Ausmaß an Beschaffungskriminalität, erfahren eine geringere Verbreitung bestimmter Seuchen und verfügen über einen besseren Schutz vor dem Kontakt mit illegalen Rauschgiften. Letzteres

hilft darüber hinaus insbesondere denjenigen, die möglicherweise noch am wenigsten die Konsequenzen des Drogenkonsums einschätzen können, nämlich den Kindern und Jugendlichen!

LITERATUR

Becker, G.S. und K. Murphy (1988): *A Theory of Rational Addiction*, in: *Journal of Political Economy*, 96, S. 675 ff.

Elster, J. (1984), *Ulysses and the Sirens*, Cambridge.

Erlei, M. (1992): *Meritorische Güter. Die theoretische Konzeption und ihre Anwendung auf Rauschgifte als demeritorische Güter*, Münster-Hamburg.

Friedman, M. (1991/1992): *The Drug War as a Socialist Enterprise. Keynote Address presented at the Fifth International Conference on Drug Policy Reform in Washington, D.C., 1991*, in: Trebach, A. und K.B. Zeese (Hrsg.), *Friedman and Szasz on Liberty and Drugs*, Washington, D.C., S. 49 – 57.

Prof. Dr. rer.pol. Mathias Erlei
Institut für Wirtschaftswissenschaft
Julius-Albert-Straße 2
38678 Clausthal-Zellerfeld
Tel.: 053 23/72-76 30
Fax: 053 23/72-76 99

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK; **Bild 1**) bestehen aus mindestens drei oder mehr kondensierten Benzolringen und sind Produkte unvollständiger Verbrennungsprozesse. Weltweit werden jährlich ca. 200.000 t dieser Substanzen in die Weltmeere eingetragen und sind dort überall nachweisbar. Ihr Nachweis und ihre Quantifizierung im marinen Milieu sind wichtig, da für einige ihrer Vertreter eine hohe karzinogene und mutagene Wirkung nachgewiesen ist [1].

Hauptquelle für diese Kontaminationen sind PAK-belastete atmosphärische Stäube, die durch Heiz- und Kfz-Emissionen kontaminiert wurden. In Meeresbereiche wie die Ostsee werden PAK über die Atmosphäre und Flüsse wie die Oder eingetragen [2]. Weitere PAK-Quellen stellen Abwässer oder Ölverschmutzungen durch die Schifffahrt dar. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, darauf hinzuweisen, daß auch Bakterien, Algen und Pilze PAK synthetisieren können, jedoch lediglich in äußerst geringen Mengen.

Die PAK-Löslichkeit im Meerwasser ist gering und nimmt mit steigendem Molekulargewicht ab. Im Meerwasser werden PAK leicht an Schwebstoffe gebunden und mit diesen letztendlich als Sediment abgelagert.

Es ist das Ziel dieses Artikels, die PAK-Konzentrationen in Oberflächensedimenten des Arkona-Beckens beckenweit zu erfassen und Variationen im PAK-Muster in Zusammenhang mit den ozeanographischen Prozessen in diesem sehr dynamischen System zu betrachten, um das PAK-Akkumulationspotential zu überprüfen und dessen Steuergrößen herauszuarbeiten.

MÜLLKIPPE OSTSEE?

Das Akkumulationspotential der Sedimente des Arkona-Beckens (südliche Ostsee) für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

Von Hans-Martin Schulz und Mathias Ricking

Das Untersuchungsgebiet

Die Ostsee ist ein flaches Binnenmeer mit einer durchschnittlichen Wassertiefe von ca. 52 m, berücksichtigt man ihre Ausdehnung von ca. 415.000 km². Sie wird gegliedert in eine Reihe von Becken- und Schwellenstrukturen (**Bild 2**).

Die flache Morphologie des Ostseebeckens und insbesondere des Arkona-Beckens, einer Beckenstruktur in der südlichen Ostsee, ist Ursache für ein sehr variables und dynamisches Sedimentationsregime, was sich in vermehrt lateralen statt vertikalen Transportprozessen darstellt. Folge dieser Prozesse sind häufig durchmischte Sedimentlagen [3]. Darüber hinaus wird der westliche Bereich der Ostsee durch periodische sauerstoffreiche Salzwassereinträge aus der Nordsee beeinflusst. Diese Ereignis-

se führen zu kurzzeitigen Belüftungen der zu meist im Beckenzentrum herrschenden Sauerstoffarmut des Bodenwassers [4].

Das Arkona-Becken ist eine flache, fast konzentrische Becken-Struktur mit einer maximalen Wassertiefe von 55 m, das feinkörnige Sedimente akkumuliert, die reich an organischem Kohlenstoff sind. Das abgelagerte organische Material ist eine Mixtur aus natürlichen und anthropogen gebildeten Verbindungen, insbesondere PAK [5, 6]. Saisonal stark variierende Eintragsquellen der PAK stellen die im Süden mündende Oder sowie atmosphärische Depositionen dar. Während der südliche Bereich des Arkona-Beckens im wesentlichen durch PAK-kontaminierte Einträge der Oder beeinflusst wird, ist im zentralen und nördlichen Arkona-Becken darüber hinaus ein vermehrter atmosphärischer PAK-Eintrag zu verzeichnen [6]. ▶

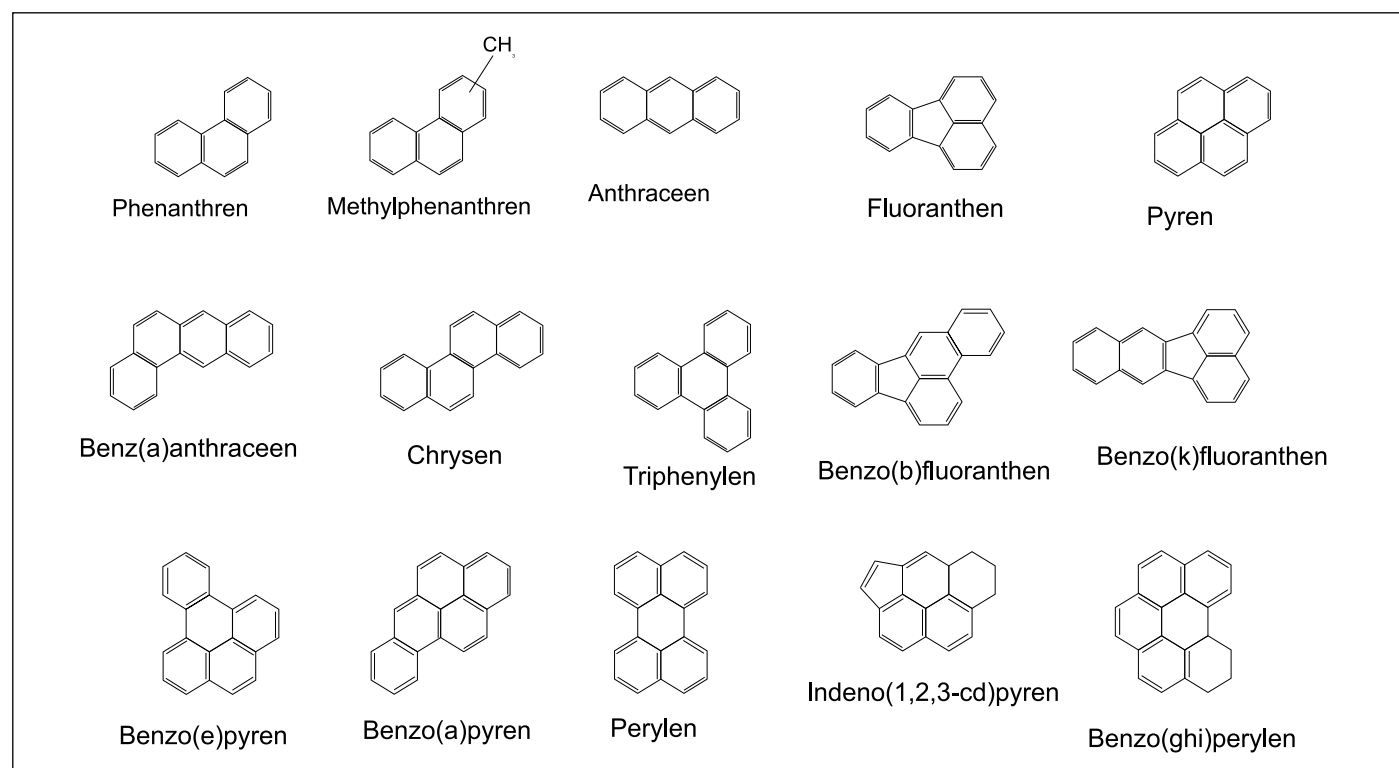


Bild 1: Ausgewählte PAK, die in diesem Artikel besprochen werden

Untersuchung der Sedimente

Die Oberflächensedimente (0 bis 1 cm; Probenlokationen sind in **Bild 3** dargestellt) wurden mit einem Kastengreifer während zweier Ausfahrten mit dem Forschungsschiff Prof. A. Penck (Inst. f. Ostseeforschung Warnemünde) im April 1995 beprobt. Die Lagerung der Sedimente erfolgte in vorgereinigten Aluminiumbehältern bei -21 °C.

Nach einer Gefriertrocknung der Sedimente und dreifacher Extraktion mittels Ultraschall (jeweils 10 Minuten mit Dichlormethan) wurde der Rohextrakt durch HCl-aktiviertes und mit Wasser, Aceton und Dichlormethan gespültes Kupferblech entschwefelt. Nach der Zentrifugation der Probenbehälter und Abpipettieren des Überstandes, erfolgte die Einengung der einzelnen Rohextrakte.

Die Dichlormethan-Extrakte ließen sich mittels einer Niederdruck ("flash")-Säulenchromatographie in die Fraktionen der gesättigten und aromatischen Kohlenwasserstoffe sowie in die Fraktion der Heterokomponenten auftrennen.

Zur säulenchromatographischen Auftrennung der Extrakte dienten mit trockenem, aktiviertem Kieselgel (Kieselgel 60, Korngröße 0,04 bis 0,063 mm, Fa. Merck) befüllte Glassäulen (=1,2cm; Länge = 60 cm). Die Füllhöhe betrug 40 cm und das Kieselgel wurde mit Hexan vorgespült. Der auf aktiviertes Kieselgel aufgezugene Extrakt wurde auf die Kieselgelsäule aufgetragen und im folgenden mit je 35 ml n-Hexan, 10:90 Dichlormethan/n-Hexan, Dichlormethan und Methanol in 4 Fraktionen chromatographiert und eingeeengt.

Die PAK-Untersuchungen der 2. Fraktion wurden auf einem GC-FID (HR 8000 GC; Fa. Fisons-Instruments; Detektortemperatur 310 °C) mit Helium (Flußrate 1,2 ml/min) als Trägergas durchgeführt. Als Kapillarsäule diente eine Fused Silica-Kapillarsäule (DB5-HT, Fa. J&W Scientific, 30 m Länge, 0,32 mm Innendurchmesser, 0,25 µm Filmdicke). Die Injektion von je 1 µl Endextrakt in Dichlormethan erfolgte cold-on-column, und das Temperaturprogramm begann bei 35 °C (2 min) und wurde mit einer Heizrate von 5 °C/min auf 330 °C (20 min) gesteigert.

Die quantitative Auswertung der Gaschromatogramme erfolgte über Vergleich mit externen Standardsubstanzen. Die in **Bild 2b** dargestellte PAK-Summe (ng/g Trockensubstanz TS) resultiert aus der Summe folgender PAK: Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Pyren, Benz(a)anthracen, Triphenylen/Chrysen, Benz(b,j,k)fluoranthren, Benz(e)pyren, Benz(a)pyren, Benz(ghi)perylen und Indeno(1,2,3-cd)pyren. Die qualitative Analyse der PAK-Frakturen wurde unter gleichen GC-Konditionen mittels GC/MS (Fisons 5168 GC mit Fisons Trio 1000 MS mit Lab.Base 2.5-Datenverarbeitungssystem; Elektronenstoßionisation bei 70 eV) im Scan-Modus von 50 -700 Dalton (1,2 Scans/s) realisiert. Die Identifikation der detektierten Substanzen erfolgte mittels Interpretation der Massenspektren, Koinjektion bekannter und ausgewerteter Vergleichsfraktionen und durch Vergleich mit der Spektrenbibliothek des Datensystems und publi-

zierten Gaschromatogrammen ähnlicher Fraktionen.

Der Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) wurde mittels eines Metalyst CS Analysers (Fa. ELTRA, CS-500) nach Entfernung des Karbonatkohlenstoffs durch Ansäuern mit HCl bestimmt.

Ergebnisse und Diskussion

Der Gehalt an organischem Kohlenstoff C_{org} in den Oberflächensedimenten spiegelt die nahezu konzentrische Beckenmorphologie wider (**Bild 4a**). Der Anstieg der C_{org} -Gehalte zum Beckenzentrum ist Ausdruck unterschiedlicher Ablagerungsbedingungen der Oberflächensedimente. An den Beckenrändern werden sandig-siltige Sedimente abgelagert, die zum Beckenzentrum deutlich feinkörniger werden (bis hin zu rein tonigen Sedimenten) [7]

und ein höheres Erhaltungspotential für organische Komponenten liefern, da sich schon im frisch abgelagerten Sediment schnell reduzierende sauerstoffarme Bedingungen einstellen. Reduzierende Bedingungen vermindern den bakteriellen Abbau von organischem Material. Generell ist ein enger Zusammenhang zwischen C_{org} -Gehalten und Korngrößen einerseits und der Wassertiefe andererseits gegeben, der sich in der räumlichen Verteilung dieser Parameter als Resultat physikalischer Sortierungsprozesse darstellt. Die tieferen Beckenbereiche sind ferner durch häufige und intensive Anoxie des Bodenwassers geprägt [8]. Diese Redoxbedingungen sind saisonal gesteuert und während der kalten Jahreszeit weniger ausgeprägt. Ferner werden die Beckenbereiche der Ostsee durch periodische Einstromereignisse mit sauerstoffreichem Wasser aus der Nordsee belüftet [4], wodurch sich kurzzeitige oxidierende Bedingungen im Bodenwasser einstellen.

Die gemessenen Konzentrationen stehen im Einklang mit PAK-Maximalkonzentrationen von 1900 ng/g TS für das Arkona-Becken [9]. Die räumliche Verteilung der PAK-Konzentrationen (ng/g TS; **Bild 4b**) folgt den oben beschriebenen Verteilungen und illustriert eine starke Abhängigkeit der PAK-Konzentrationen vom C_{org} -Gehalt der Oberflächensedimente [5]. Hohe Anteile an Corg und Tonmineralen fördern die Konservierung von organischen Kontaminanten in Sedimenten und vermindern einen bakteriell gesteuerten PAK-Abbau [10]. Ein Großteil der sedimentär gebundenen PAK stammt aus Heizemissionen aus dem Großraum nördliches Mecklenburg-Vorpommern [6]. PAK-Zusammensetzungen aus



Bild 2: Bathymetrie der Ostsee (verändert nach Seifert, Kayser & Tauber, 1996).

Hellgraue Farben an den Küsten zeigen flaches Wasser an, dunkelgraue bis schwarze Farben die tiefsten Beckenbereiche.

Heizemissionen werden als wesentlich stabiler angesehen als PAK aus Kfz-Emissionen [11].

Die PAK-Muster der Oberflächensedimente im Arkona-Becken sind nicht einheitlich, sondern weisen lokale Variationen auf, die auf unterschiedliche PAK-Quellen und Redox-Veränderungen sowie selektive Biodegradation, Löslichkeit und Photo-Oxidation einzelner PAK hinweisen. Derartige Nachweise werden durch Anwendung spezifischer PAK-Quotienten und relativer Verteilungsmuster geführt [11, 12, 13, 14].

Die Darstellung relativer PAK-Verteilungsmuster wird in der englischsprachigen Literatur als parent compound distributions (PCD) [11], parent PAH series [12] oder PAH distribution patterns [13] bezeichnet. Diese Art der Auswertung von PAK-Mustern wird zur Erfassung und Abgrenzung östlicher PAK-Quellen gegenüber PAK aus Verbrennungsprozessen (Heizungen, Kfz-Emissionen) genutzt. Sie basiert auf der größeren Dominanz der Vier-, Fünf- und Sechsring-PAK in Verbrennungsprodukten infolge höherer Bildungstemperaturen gegenüber natürlichen Erdölen, in denen Zwei- und Dreiring-PAK dominieren. Die PAK-Quotienten der 3-Ring-PAK zu Benz(a)anthracen (178/BaA) im Arkona-Becken dokumentieren eine starke Verarmung der niedermolekularen PAK im südwestlichen Bereich (**Bild 5a**) und eine bevorzugte Deposition der hochmolekularen 5-Ring-PAK im Beckenzentrum (252/BaA; **Bild 5b**). Die Verteilung der hochmolekularen Vertreter verdeutlicht eine verstärkte Akkumulation von PAK aus Verbrennungsprozessen im Beckenzentrum, die von Baumgard et al. (1999) bestätigt wird [14] und von Gustavson & Jonsson 1999 für persistente ha-

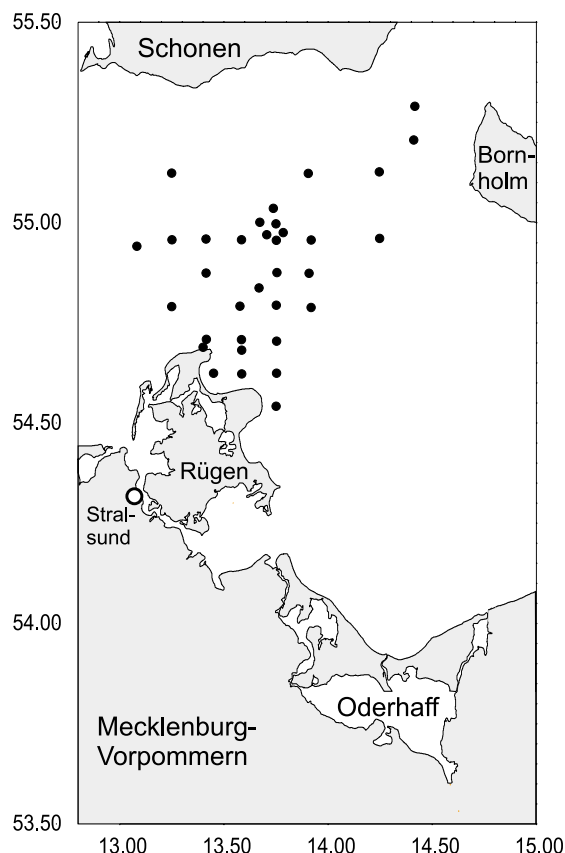


Bild 3: Stationen der Beprobung der Oberflächensedimente im Arkona-Becken und Randbereichen

logenorganische Kontaminanten registriert wurde [15]. Diese PAK sind wesentlich stabiler gegenüber bakteriellem Abbau als PAK aus Ölverschmutzungen [16]. Ursache hierfür ist deren Einbindung in Rußpartikel [17]. Demgegenüber können PAK aus Mineralölen wesentlich leichter abgebaut werden, da sie in dünnen Wasserfilmen stärker exponiert (z. B. für Photo-Oxidation) und bioverfügbar sind [18]. Das Minimum der niedermolekularen PAK im Süden und Westen des Beckens resultiert aus dem direkten Einfluß der Oder im Südteil und periodischen Salzwassereintrüben aus der Nordsee im Westteil. Beide Wassermassen sind sauerstoffreich und ermöglichen eine stärkere bakterielle Degradation der niedermolekularen PAK. Ein Beleg für stärker oxidierende Bedingungen im Westteil des Beckens ist eine an entsprechende Redoxbedingungen adaptierte und dort auftretende Zoobenthos-Artenverteilung (frdl. mündl. Mitt. M. Powilleit, Rostock). Generell sind die niedermolekularen PAK

wesentlich sensiver gegenüber bakterieller Degradation, insbesondere in Sedimenten mit geringen C_{org} -Gehalten und Tongehalten [10].

Ein häufig berechneter PAK-Quotient stellt das Verhältnis der fünf Monomethylphenanthrene zu dem nicht-alkylierten Phenanthren (MP/P) [19] dar, der in den Sedimenten des Arkona-Beckens abnehmende Werte von Südwesten (maximale MP/P-Werte von 8) nach Nordosten (minimale MP/P-Werte von <0,2) aufzeigt (Bild 6a).

MP/P-Verhältnisse von 2 bis 6 in Sedimenten weisen auf Kontaminationen durch Erdöle hin, MP/P-Werte von 0,5 bis 1 belegen PAK-Emissionen aus Verbrennungsprozessen. Einschränkung ist zu bedenken, daß durch mehrere bakteriell gesteuerte Prozesse eine Modifikation des Quotienten erfolgen kann: z.B. (a) durch einen verringerten Abbau mit steigendem Alkylierungsgrad [19] mit daraus resultierender höherer Stabilität gegenüber dem unsubstituierten Phenanthren [20, 21] oder (b) eine bakteriell gesteuerte Bildung von alkylierten Spezies aus Phenanthren [22, 23].

Der Quotient Pyren zu Perylen (Pyr/Per) wird genutzt, um zwischen Perylen-Einträgen aus anthropogenen Quellen (Kfz-Verkehr, Heizungen) und diagenetisch aus terrestrischen und/oder marinen Vorläufermolekülen gebildetem Perylen [24, 25, 26] zu differenzieren. Anthropogene PAK-Emissionsquellen zeichnen sich durch ein Pyr/Per-Verhältnis von 0,8 bis 15 aus [24]. In den Oberflächensedimenten des Arkona-Beckens läßt sich ein zunehmender Gradient dieses Quo-

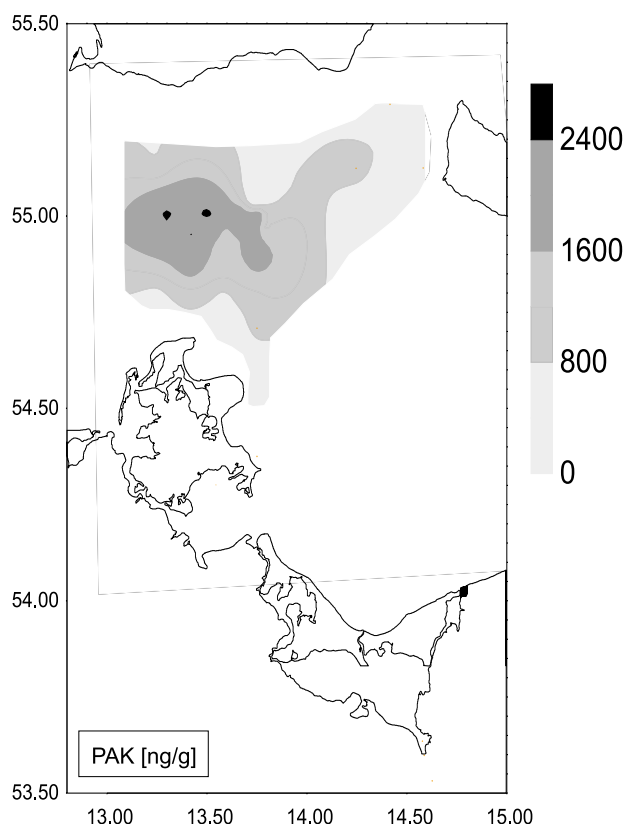
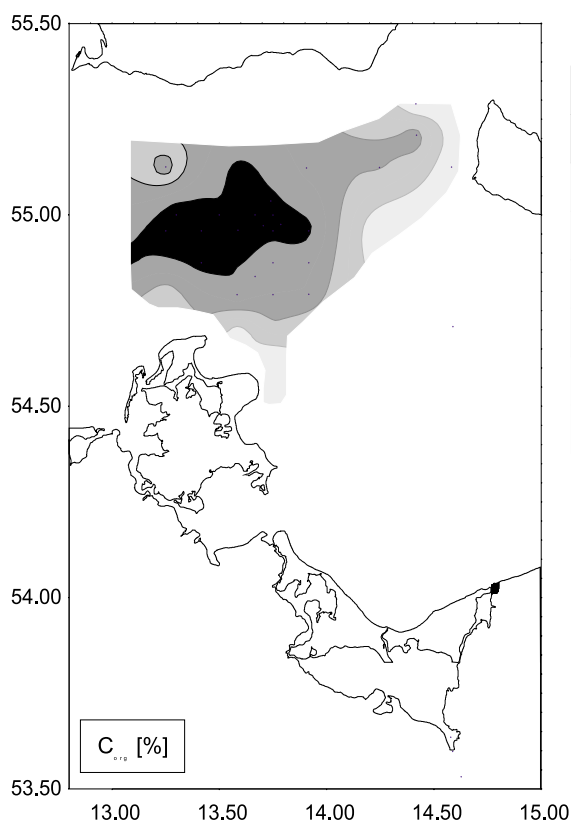


Bild 4a,b: Gehalte an organischem Kohlenstoff (C_{org}) und PAK-Summe (ng/g TS) der Oberflächensedimente

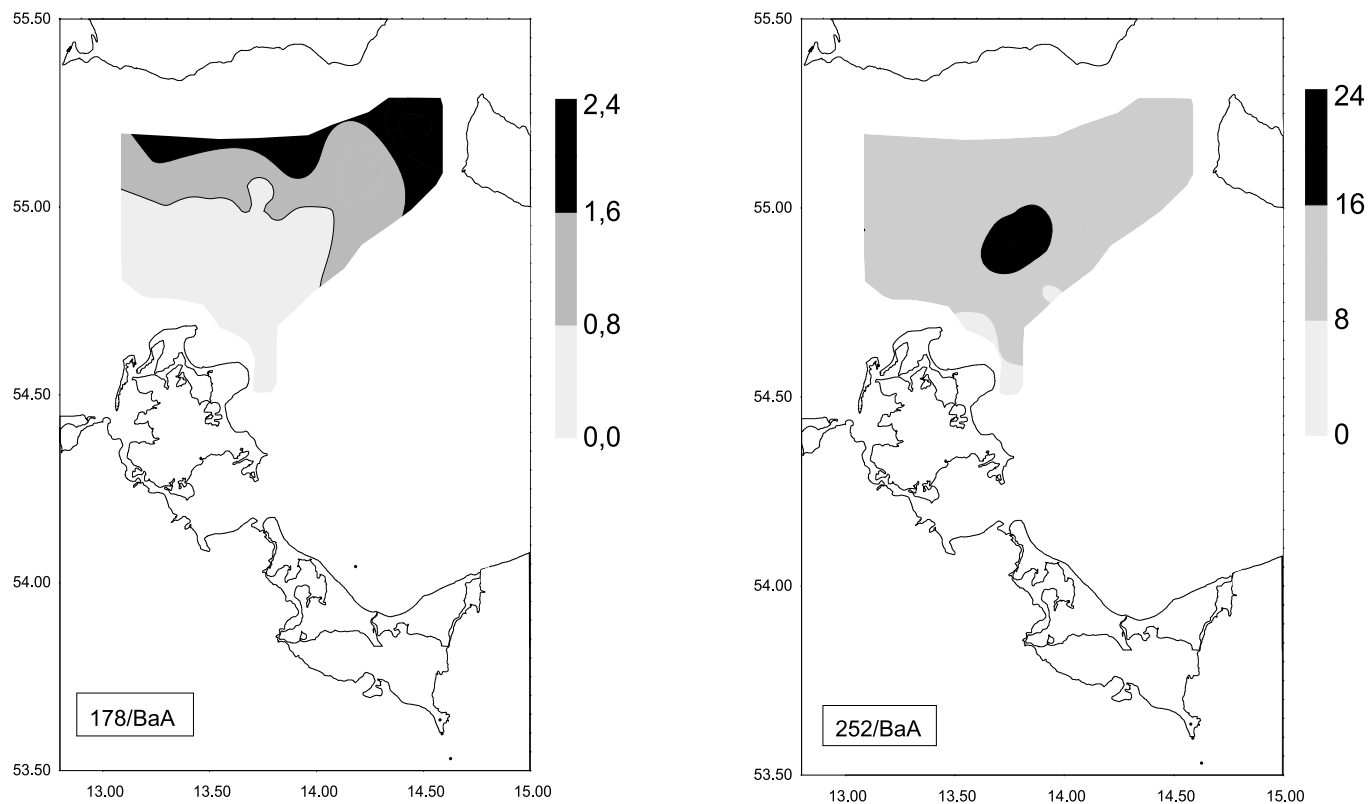


Bild 5a,b: PAK-Verteilungsmuster der Oberflächensedimente 178 = Phenanthren + Anthracen, 252 = Benzfluoranthene + Benz(e)pyren + Benz(a)pyren + Perylen. Die Normierung erfolgte auf das Benz(a)anthracen (BaA)

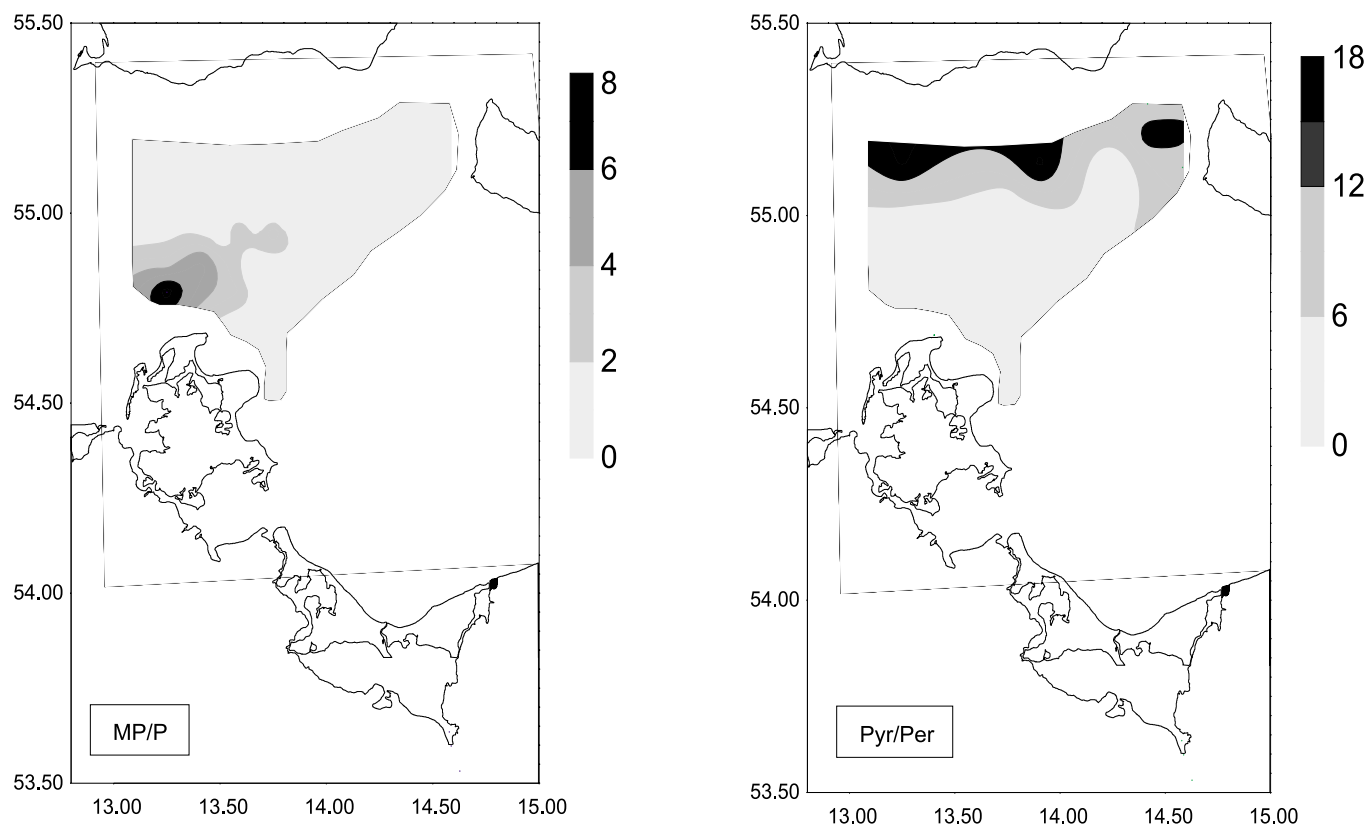


Bild 6a,b: Darstellung ausgewählter PAK-Quotienten der Oberflächensedimente Monomethylphenanthrene/Phenanthren (MP/P), Pyren/Perylen (Pyr/Per)

tienten von Süden nach Norden feststellen (Bild 6b), der auf einen starken Einfluß diagenetisch gebildeten Perylens im Süden und Zentralbereich des Beckens deutet, aus terrestrischem Eintrag [14] und resuspendiertem Sediment aus dem Oderhaff stammt und als fluviatiler Tracer für den Oder-Eintrag eingesetzt werden kann [6]. Entsprechende Erkenntnisse für einen derartigen Interpretationsansatz stammen aus dem Gironde-Ästuar [25].

Schlußfolgerungen

Polzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe werden im Arkona-Becken hauptsächlich im Beckenzentrum im Einklang mit Witt [5] und Witt & Trost [9] akkumuliert. Der fluviatile Eintrag resuspendierten Sedimentmaterials aus dem Oderhaff, das sich durch relativ höhere Konzentrationen an Perylen auszeichnet, läßt sich mit abnehmendem Gradienten bis in das Beckenzentrum rekonstruieren. Neben PAK-Kontaminationen aus Verbrennungsprozessen sind insbesondere im näheren Umfeld von Rügen Ölkontaminationen anhand der PAK-Muster nachweisbar, die durch Hafen- und Fähraktivitäten bedingt sind und für die Kieler Bucht von Baumgard et al. [14] postuliert wurden.

Das Akkumulationspotential der PAK wird im wesentlichen durch den Gehalt an organischem Kohlenstoff und die Korngröße der Oberflächensedimente beeinflusst, deren Verteilung durch die vorherrschenden physikalischen Bedingungen am Beckenboden gesteuert wird. Darüber hinaus bewirken die vorherrschenden Redox-Bedingungen im Bodenwasser Konzentrationsabnahmen der niedermolekularen PAK (möglicherweise bakteriell induziert), die im südlichen und westlichen Beckenbereich durch Beeinflussung oxidierender Bodenwässer auftreten.

Insbesondere abnehmende PAK-Emissionen durch Ersatz von Kohleheizungen und somit geringere PAK-Kontaminationen atmosphärischer Schwebstoffe in Mecklenburg-Vorpommern [27] sowie eine Verminderung fluviatil eingetragener PAK lassen langfristig eine Verminderung der PAK-Kontaminationen der Oberflächensedimente des Arkona-Beckens erwarten, das weiterhin aufgrund der lokalen ozeanographischen Bedingungen eine Senke für PAK bleiben wird.

Literatur

[1] Lipiatou, E.; A. Saliot: Fluxes and transport of anthropogenic and natural polycyclic aromatic hydrocarbons in the western Mediterranean Sea. *Marine Chemistry* 32 (1991), pp. 51–71.
[2] Lipiatou, E.; J. Albaiges: Atmospheric deposition of hydrophobic organic chemicals in the northwestern Mediterranean Sea: comparison with the Rhone river input. *Marine Chemistry* 46 (1994), pp. 153–164.
[3] Leipe, T.; T. Neumann; K. C. Emeis: Schwer-

metallverteilung in holozänen Ostseesedimenten. *Untersuchungen im Einflußbereich der Oder. Geowissenschaften* 12 (1995), S. 470–478.

[4] Matthäus, W.; H. Franck: Characteristics of major Baltic inflows – a statistical analysis. *Cont. Shelf Res.* 12 (1992), pp. 1375–1400.
[5] Witt, G.: Polycyclic aromatic hydrocarbons in water and sediment of the Baltic Sea. *Mar. Poll. Bull.* 31 (1995) (4-12), pp. 237–248.
[6] Schulz, H. M.; K. C. Emeis: Sources and pathways of natural and anthropogenic hydrocarbons into the natural dump "Arkona Basin" (Southern Baltic Sea). *Environ. Geol.*, 39 (2000) (8), pp. 839–848.
[7] Harff J.; W. Lemke; F. Tauber; E. M. Emeiljanov: Geologische Kartierung der Ostsee. *Geowissenschaften* 19 (1995), S. 442–447.
[8] Nehring, D.: Gase. In: *Meereskunde der Ostsee* (Hrsg. G. Rheinheimer), S. 91–97. Springer Berlin, Heidelberg 1996.
[9] Witt, G.; E. Trost: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments of the Baltic Sea and of the German coastal waters. *Chemosphere* 38 (1999), pp. 1603–1614.
[10] Gardner, W. S.; R. F. Lee; K. R. Tenore; L. W. Smith: Degradation of selected polycyclic aromatic hydrocarbons in coastal sediments: importance of microbes and polychaete worms. *Water, Air and Soil Pollution* 31 (1979), pp. 339–347.
[11] Yunker, M. B et al.: Polycyclic aromatic hydrocarbon composition and potential sources for sediment samples from the Beaufort and Barents Seas. *Environ. Sci. Technol.* 30 (1996), pp. 1310–1320.
[12] Lake, J. L.; C. Norwood; C. Dimock; R. Bowen: Origins of polycyclic aromatic hydrocarbons in estuarine sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 43 (1979), pp. 1847–1854.
[13] Lipiatou, E.; J. C. Marty; A. Saliot: Sediment trap fluxes of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Mediterranean Sea. *Marine Chemistry* 44 (1993), pp. 43–54.
[14] Baumgard, P.; H. Budzinski; P. Garrigues; H. Dizer; P. D. Hansen: Polycyclic aromatic hydrocarbons in recent sediments and mussels (*Mytilus edulis*) from the Western Baltic Sea: occurrence, bioavailability and seasonal variations. *Marine Environmental Research* 47 (1999), pp. 17–47.
[15] Gustavson, K.; P. Jonsson: Some halogenated organic compounds in sediments and blue mussel (*Mytilus edulis*) in Nordic Seas. *Marine Pollution Bulletin* 38 (1999), pp. 723–736.
[16] Jones, D. M.; S. J. Rowland; A. G. Douglas: An examination of the fate of Nigerian Crude oil in surface sediments of the Humber Estuary by gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* 24 (1986), pp. 227–247.
[17] Gschwend, P. M.; R. A. Hites: Fluxes of poly-

cyclic aromatic hydrocarbons to marine and lacustrine sediments in the northeastern United States. *Geochim. Cosmochim. Acta* 45 (1981), pp. 2359–2367.

[18] Lee, R. F.; C. Ryan: Microbial and photochemical degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in estuarine waters and sediments. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 40 (2) (1983), pp. 86–94.
[19] Prahl, F. G.; R. Carpenter: Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)-phase associations in Washington coastal sediment. *Geochim. Cosmochim. Acta* 47 (1983), pp. 1013–1023.
[20] Douglas, G. S.; A. E. Bence; R. C. Prince; S. J. McMillen; E. L. Butler: Environmental stability of selected petroleum hydrocarbon source and weathering ratios. *Environ. Sci. Technol.* 30 (1996), pp. 2332–2339.
[21] Leeming, R.; W. Maher: Sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in Lake Burley griffin, Australia. *Org. Geochem.* 18 (5) (1992), pp. 647–655.
[22] Solanas, A. M.; R. Pares; J. M. Bayona; J. Albaiges: Degradation of aromatic petroleum hydrocarbons by pure microbial cultures. *Chemosphere* 13 (1984), pp. 593–601.
[23] Walker, J. D.; R. R. Colwell; L. Petrakis: Microbial petroleum degradation. Application of computerized mass spectrometry. *Can. J. Microbiology* 21 (1975), pp. 1760–1767.
[24] Venkatesan, M. I.: Occurrence and possible sources of perylene in marine sediments – a review. *Marine Chemistry* 25 (1988), pp. 1–27.
[25] Budzinski, H.; I. Jones; J. Bellocq; C. Piérard; P. Garrigues: Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary. *Marine Chemistry* 58 (1997), pp. 85–97.
[26] Silliman, J. E.; P. A. Meyers; B. J. Eadie: Perylene: an indicator of alteration processes or precursor materials? *Organic Geochemistry* 29 (1998), pp. 1737–1744.
[27] Landesamt für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern (LAUN): Luftgütebericht 1994/1995. Schwerin 1995.

Dr. Hans-Martin Schulz
Institut für Geologie und Paläontologie
Leibnizstraße 10
38678 Clausthal-Zellerfeld
Tel.: (05323)72-3112
Fax: (05323)72-2903
E-Mail: schulz@geologie.tu-clausthal.de

Dipl.-Geogr. Mathias Ricking
Freie Universität Berlin
Institut für Geographie
FU-GEOLAB
Abt. Organische Umweltgeochemie
Malteserstr. 74–100
12249 Berlin
E-Mail: ricking@zedat.fu-berlin.de

Dr.-Ing. Oliver Langefeld zum Professor ernannt

Der Rektor der TU Clausthal, Professor Dr. Ernst Schaumann, ernannte Dr.-Ing. Oliver Langefeld zum Professor für Maschinelle Betriebsmittel in Bergbau und Geotechnik. Professor Langefeld vertritt in Lehre und Forschung die Fächer Antriebstechnik, Lager-technik, Fördertechnik, Vortriebstechnik und Gewinnungstechnik. Professor Dr.-Ing. Langefeld kommt von der Deutschen Steinkohle AG (DSK) an die TU Clausthal. Dort war er zuletzt als Abteilungsleiter Grundsatzfragen Technik (TB 1) tätig.

Professor Langefeld studierte an der TU Clausthal von 1979 - 1985 Bergbau und begann im Jahr 1985 seinen Berufsweg als Schichtsteiger auf dem Bergwerk Walsum, war ein Jahr später Reviersteiger und wieder ein Jahr später Projektingenieur. Als Ausbauingenieur verließ er 1991 das Duisburger Bergwerk und wurde bei der Ruhrkohle Niederhein AG Leiter des Fachbereichs Strebausbau. Im Jahr 1993 kehrte er zum Duisburger Bergwerk zurück und übernahm die Leitung der Bergtechnik. Im Jahre 1994 wurde er Leiter des technischen

Stabes. Parallel verfolgte er seinen wissenschaftlichen Weg und wurde im Jahr 1996 an der Rheinisch-Westfälisch-Technischen Hochschule Aachen (RWTH) zum Dr.-Ing. promoviert. Im Jahr 1996 wechselte er zur Hauptverwaltung der heutigen DSK und war als Leiter der Abteilung Betriebsorganisation/Betriebsanalyse/ Technische Systeme, später umbenannt in Grundsatzfragen Technik (TB 1), zuletzt verantwortlich für 32 Mitarbeiter. Bei der DSK entwickelte er u.a. das Verfahren des definierten Hobelns bis zur Betriebsreife und das integrierende geometrisch-technische Planungssystem.

Professor Langefeld bereitet zur Zeit intensiv seine ersten Vorlesungen vor. Für die Lehre strebt Professor Langefeld zusätzliche englischsprachige Vorlesungsangebote an, so daß die TU Clausthal auch einen Masterabschluß anbieten kann. Und als Wissenschaftler mit dem Hintergrund des erfahrenen Ingenieurs aus der Praxis versteht er seine forschende Aufgabe „als Dienstleister für die Industrie in Sachen Forschung“.

Ein Bogen schließt sich: Von 1979 bis 1985 studierte Oliver Langefeld an der TU Clausthal. Nun



Prof. Dr.-Ing. Oliver Langefeld

kehrt er mit reichen Praxiserfahrungen auf eine Ingenieurprofessur an sie zurück. Ein Gewinn für die Universität und ihre Studierenden. Seine Ehefrau, Susanne Langefeld, geboren in Goslar, lernte er im Harz kennen, und so freuen sich beide wieder in die Heimat zu ziehen „obwohl es am Niederrhein auch sehr schön ist“.

PD Dr. Brokmeier zum außerplanmäßigen Professor ernannt



Prof. Dr. Heinz-Günter Brokmeier (l.) mit dem Rektor, Prof. Dr. Ernst Schaumann

Privatdozent Dr. Heinz-Günter Brokmeier, Institut für Werkstoffkunde und Werkstofftechnik der TU Clausthal, wurde vom Rektor der TU Clausthal, Prof. Dr. Ernst Schaumann, zum außerplanmäßigen Professor ernannt. Geboren 1952 in Ottendorf, studierte Heinz-Günter Brokmeier nach seinem Wehrdienst von 1974 - 1979 Mineralogie mit dem Schwerpunkt der Kristallographie an der TU Clausthal. Promotion im Jahr 1983 und Habilitation 1994 sind die äußeren Wegmarken seines wissenschaftlichen Weges.

Am Institut für Metallkunde und Metallphysik der TU Clausthal widmete er sich von 1985 - 1997 der Texturforschung. Im Jahre 1991 wurde er Sprecher des Arbeitskreises Texturanalytik mit Neutronen im Fachausschuß Texturen der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde. 1995 übernahm er die Projektleitung des BMBF-Verbundgerätes TEX-2 am FRG-1 am GKSS-Forschungszentrum in Geesthacht. Professor Brokmeiers wissenschaftliche Expertise wird auch im Ausland geschätzt. So hielt Professor Brokmeier, dessen wissenschaftliches Werk heute rund 160 Veröffentlichungen umfaßt, Gastvorlesungen an der Universität Rosario in Argentinien (1996) und war im Jahr 1997 Chairman der Neutron Texture and Stress Conference (NTSA) in Dubna in Rußland. Seit letztem Jahr ist Professor Brokmeier Sprecher des Arbeitskreises Metallphysikalische Grundlagen von Magnesium im Fachausschuß Magnesium der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde. ■

PD Dr. Arnold Adam zum Professor für Anorganische Chemie ernannt

Privatdozent Dr. rer. nat. Arnold Adam wurde vom Rektor der TU Clausthal, Professor Dr. Ernst Schaumann, zum Professor (C3) für Anorganische Chemie ernannt. Professor Adam, geboren 1956, legte 1972 die Mittlere Reife ab und begann eine Ausbildung zum Chemielaboranten bei der Chemischen Fabrik Köln Kalk GmbH, die er 1976 abschloß. Er arbeitete ein Jahr als Chemielaborant und entschloß sich, das Abitur nachzuholen. Schnelle Schritte: 1979 - 86 Studium der Chemie an der Universität zu Köln, 1986 - 1989 Promotion bei Professor Dr. H.-U. Schuster mit dem Thema "Ternäre Alkalimetallverbindungen mit Elementen der 4.

Neben- und 5. Hauptgruppe". 1995 erteilte ihm die Universität zu Köln die *venia legendi* für das Fach Anorganische Chemie mit der Habilitationsschrift: "Beiträge zur Kristallchemie der Carbonate und Hydrogencarbonate". Von 1995 - 1999 war Professor Adam sodann Oberassistent (C2) am Institut für Anorganische Chemie. Im Sommersemester 1998 war er Gast an der Universität von Kalifornien in Berkeley bei Professor Dr. Alexander Pines. Im Sommersemester 1999 und Wintersemester 1999/2000 übernahm er die Vertretung des Lehrstuhls I für Anorganische und Analytische Chemie an der Justus-Liebig-Universität Gießen. ■



Professor Dr. Arnold Adam

Honorarprofessur der TU Clausthal an Prof. Dr.-Ing. Bruno Prinz

Professor Dr.-Ing. Bruno Prinz wurde vom Rektor der TU Clausthal, Professor Dr. Ernst

Schaumann, zum Honorarprofessor ernannt. Professor Prinz hält seit 1990 als Lehrbeauftragter Vorlesungen für „Spezielle Gebiete des Gießereiwesens“ mit Schwerpunkt Metallurgie und Gießertechnik der Nichteisenmetalle.



Bei der Ernennung: (v.l.n.r.) Prof. Dr. Ernst Schaumann, Prof. Dr.-Ing. Bruno Prinz und Frau Prinz

Geboren 1939 in Düsseldorf, erlernte Bruno Prinz den Beruf des Formers bei der Eisengießerei Gustav Pleissner in Elze/Hannover. Nach dem Umzug der Familie nach Köln setzte er die Ausbildung bei der Firma Klöckner-Humboldt-Deutz in Köln fort. Von 1964 - 1969 studierte Prinz Gießereiwesen an der TU Clausthal und wurde 1973 mit einer Arbeit über "die Erstarrungskinetik ternärer Legierungen" bei Professor Dr. Eberhard Schürmann promoviert. Professor Prinz war lange Jahre, von 1974 bis 1996, bei der Metallgesellschaft AG in Frankfurt am Main tätig, zunächst als

wissenschaftlicher Mitarbeiter, Prokurist, Abteilungsleiter und zuletzt als Mitglied der Laborleitung und Geschäftsführer des Metall-Laboratoriums. Eine abwechslungsreiche, fordernde Tätigkeit, denn sie bot Raum für konzeptionelle Entwicklungsprojekte und verlangte kurzfristige technische Problemlösung an Ort und Stelle. Seine Arbeitsgebiete sind die Metallurgie und Gießertechnik, die Umformtechnik und Fertigungstechnik, die Anlagenplanung und als Werkstoffe die Eisen- und Aluminium-Gußwerkstoffe, Leichtmetall- und Schwermetalllegierungen. Seine wissenschaftlichen Ergebnisse legte er in über achtzig Beiträgen für Fachzeitschriften nieder. Seit 1990 nahm er nebenberuflich an der TU Clausthal einen Lehrauftrag für "Spezielle Gebiete des Gießereiwesens" mit Schwerpunkt Metallurgie und Gießertechnik der Nichteisenmetalle wahr. 1996 verließ er die Metallgesellschaft AG und folgte dem Ruf auf die Professur für Metallurgie und Gießertechnik an der Fachhochschule Gießen-Friedberg. Neben wissenschaftlicher und praktischer Ingenieurstätigkeit widmete sich Professor Prinz der Ausgestaltung der Lehre in seinem Fachgebiet. Als Prodekan des Fachbereichs "Maschinenbau, Mechatronik und Materialtechnologie" der FH Gießen-Friedberg war Professor Prinz an der Entwicklung des neuen, modular strukturierten Studiengangs „Materialtechnologie“ beteiligt.

Mitarbeiter der TU Clausthal zum neuen „CTNS Regional Director for Europe“ ernannt

Herr Dipl.-Phys. Dr. theol. Christian Berg wurde im Rahmen seiner Tätigkeit am Institut für Technische Mechanik mit Wirkung vom 1. Juli zum neuen Regional Director for Europe des Center for Theology and the Natural Sciences (CTNS), Berkeley, CA ernannt.

Das CTNS wurde 1981 von dem US-amerikanischen Physiker und Theologen Robert John Russell gegründet und widmet sich der Forschung und Lehre im Schnittfeld von Theologie und Naturwissenschaften (vgl. <http://www.ctns.org>).

Herr Dr. Berg wird als Regional Director for Europe im Rahmen seiner vom CTNS finanzierten Position u.a. daran arbeiten, im Schnittfeld von Naturwissenschaft und Theologie in Europa Kontakte zu knüpfen, ein Netzwerk in diesem Bereich aufzubauen und die Forschung und Lehre voranzutreiben.

Das Verhältnis von Theologie und Naturwissenschaft, und damit die Arbeit des CTNS, sind im Wesentlichen von drei verschiedenen Themenkreise geprägt:

- Zum einen erkenntnistheoretische und methodologische Fragen: Wie kommt naturwissenschaftliche, wie religiöse Erkenntnis zustande? Gibt es zwischen beiden möglicherweise Gemeinsamkeiten, wo liegen die Unterschiede? Was ist zu der positiven Behauptung zu sagen, alleine die Naturwissenschaft könne verlässliches Wissen bieten und Religion sei subjektiv und irrational?
- Ein zweiter Bereich des Schnittfelds von Theologie und Naturwissenschaft befasst sich mit inhaltlichen Fragen: kann man in einer Welt naturwissenschaftlicher Gesetzmäßigkeit noch an Gott glauben? Wie verhält sich zum Beispiel die biblische Schöpfungsgeschichte zu dem, was die Kosmologie oder Evolutionstheorie über die Schöpfung sagt?
- Schließlich sind es die ethischen Fragen, die sich aus der Anwendung von Naturwissenschaft und Technik ergeben, die für die Theologie relevant sind. Wie kann der Umgang mit Naturwissenschaft und Technik ethisch re-



Herr Dipl.-Phys. Dr. theol. Christian Berg

flektiert werden, wo gibt es Grenzen dessen, was wir dürfen? Hier ergeben sich eine Fülle von Themen, die heute unmittelbar gesellschaftlich relevant werden. Allein die Gebiete Technik-Ethik, Gen-Ethik und Medizin-Ethik stellen je für sich umfangreiche und an Bedeutung ständig zunehmende Forschungsgebiete dar.

Herr Berg, 1967 in Hamburg geboren, studierte nach dem Zivildienst in Freiburg, Würzburg, Frankfurt und Heidelberg Physik, Philosophie und Theologie. 1994 schloss er in Würzburg sein Physikstudium ab. In seiner Diplomarbeit untersuchte er die Dynamik von Satellitengalaxien, die sich in Halos von Dunkler Materie um ihre Zentralgalaxien bewegen.

Anschließend vertiefte er die Studien in Philosophie und Theologie, schloss 1998 das Theologiestudium ab (Mag. theol.). Seit dieser Zeit ist er Mitarbeiter der Arbeitsgruppe von Herrn Prof.

promoviert.

Herr Berg gewann im April diesen Jahres zusammen mit Prof. Jischa und dem Clausthaler Studentenpastor (ESG) Dr. Matthias Schlicht, der zugleich auch Lehrbeauftragter der TUC für Wissenschaft, Technik und Ethik ist, einen mit 10.000 USD dotierten Preis des Science and Religion Course Program des CTNS. Mit diesem Preis soll die Ausarbeitung eines Seminars ausgezeichnet werden, das im WS 2001/2002 an der TU Clausthal stattfinden wird und das in den Dialog von Naturwissenschaft und Theologie einführt. Das Seminar, das im Rahmen des Studiums generell angeboten werden wird und für das ein Leistungsnachweis erworben werden kann, wird im betreffenden Schnittfeld der Disziplinen methodologische, metaphysische und ethische Fragen behandeln. Ein Novum an der TU Clausthal stellt dieses Seminar insofern dar, als darin Vertreter beider „Kulturen“, die zudem verschiedenen Institutionen angehören, zusammenarbeiten. ■

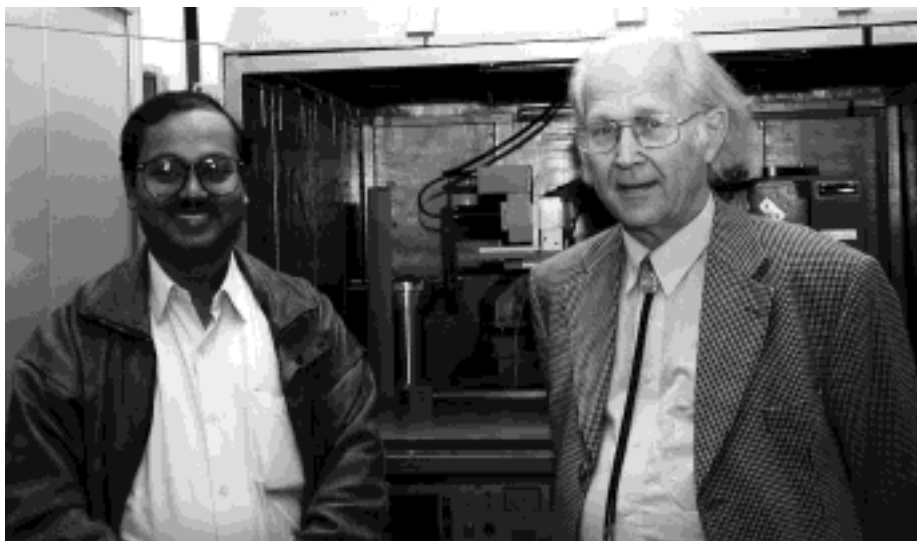
Dr.-Ing. Michael F. Jischa am Institut für Technische Mechanik und arbeitet an der Operationalisierung des Leitbildes Nachhaltigkeit durch Technikbewertung. Diese Arbeit begann mit einem Projekt, das von der Hanns-Lilje-Stiftung finanziert wurde – eine Stiftung, die der Evangelisch-Lutherischen Kirche Hannovers angehört.

Unterbrochen wurde diese Arbeit 1999 durch einen Forschungsaufenthalt am Princeton Theological Seminary in Princeton, New Jersey, von dem Herr Berg ein Forschungsstipendium erhielt.

Im April 2000 gewann Herr Berg mit seinem Aufsatz „Leaving behind the God-of-the-Gaps – Towards a theological response to scientific limit questions“ den ersten Preis des Internationalen Wettbewerbs Expanding Humanity's Vision of God, den die Templeton Foundation ausgeschrieben hatte (vgl. http://www.templeton.org/ehvg_winners.asp).

Im Februar 2001 wurde Herr Berg von der Theologischen Fakultät der Universität Heidelberg mit einer Arbeit zum Verhältnis von Theologie zu Naturwissenschaft und Technik

Ehrenmitgliedschaft in der indischen Textur-Gesellschaft für Prof. Dr. em. Hans-Joachim Bunge



Dr. Partha Ghosal aus Hyderabad mit Prof. Dr. em. Hans-Joachim Bunge.

Professor Dr. em. Hans-Joachim Bunge wurde zum Ehrenmitglied der Indischen Gesellschaft für Texturforschung ausgezeichnet. Die Auszeichnung wird ihm „in Anerkennung seiner herausragenden und bedeutenden Beiträge auf dem Gebiet der kristallographischen Texturforschung an Materialien“ zuteil. Seit anderthalb Jahrzehnten steht Professor Bunge in intensivem Kontakt mit seinen indischen Fachkollegen.

Mehrfach waren indische Gastwissenschaftler für längere Forschungsaufenthalte bei Professor Bunge und Professor Dr. Schwarzer zu Besuch; so auch im Moment Dr. P. Ghosal vom metallurgischen Forschungslabor in Hyderabad.

Die Texturforschung befaßt sich mit der Rich-

tungsabhängigkeit von Materialeigenschaften. Die Festigkeit, Zähigkeit, und Härte in unterschiedlichen Richtungen innerhalb eines Werkstoffs hängt oft von der Nah- und Fernordnung der Kristallite ab. Diese kann u.a. in Röntgenstreuexperimenten sichtbar gemacht werden.

Auch nach seiner Emeritierung ist Professor Bunge wissenschaftlich aktiv wie eh und je. Die Nachricht von der ehrenvollen Aufnahme in die indische Fachgesellschaft erreichte ihn auf einer Tagung in Krakau. Seit seiner Emeritierung arbeitet er auch am Hamburger Synchrotronstrahlungslabor. „Mit der neuen, weltweit nur dort verfügbaren Hochauflösungstechnik an der hochenergetischen Röntgenstrahlenquelle können wir ganze Bauteile durchleuchten und dabei sogar einzelne Kristallite tief in ihrem Inneren sichtbar machen“, sagt Professor Bunge. ■

Friedrichspreis für Neue Technologien 2001

Mit dem Friedrichspreis für Neue Technologien 2001 wurden am siebten November im Rahmen der 74. Tagung des Wissenschaftlichen Rates der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen, (AiF), Dr. rer.nat. habil. Gerald Rafler, Dr. Frank Börner, Dr. Eckhard Bonatz und Dr. Rudolf Nastke vom Fraunhofer-Institut für angewandte Polymerforschung, Golm, für ihre Arbeiten zum Thema „Mikroverkapselung gegen Brand und Entflammung“ ausgezeichnet.

Der mit 30000 Mark dotierte Preis wurde gestiftet von der Firma Stöbich Brandschutz, Goslar, in Verbindung mit der Stadt Goslar und der TU Clausthal.

Über die Preisvergabe entschied eine wissenschaftliche Jury unter dem Vorsitz des Rektors der TU Clausthal, Professor Dr. Ernst Schumann.

„Spiritus rector“ der Idee an der Universität war Professor Dr.-Ing. Ulrich Draugelates, Institut für Schweißtechnik und Trennende Fertigungsverfahren.

Mit dem Friedrichspreis wird eine Forschungsarbeit der angewandten Technologien ausgezeichnet, die erkennen läßt, daß sie die technischen und naturwissenschaftlichen Entwicklungen wesentlich beeinflussen wird und deren Umsetzung in neue Produkte oder Verfahren absehbar ist.

Anzeige



Hotel „Die Tanne“,
Wilhelm Robben,
Bäringer Straße 10,
38640 Goslar,
Tel. (0 53 21) 34 39-0,
Fax (0 53 21) 34 39 34

Sie schlafen in ruhiger Lage der Goslarer Altstadt und frühstücken am reichhaltigen Buffet. Entspannen und erholen Sie sich in unserem familiär geführten Haus mit freundlicher Atmosphäre.

- 7 Einzel- und 16 Doppelzimmer, sehr gepflegt, hell, gemütlich und geschmackvoll eingerichtet
- Alle Zimmer verfügen über Bad/WC oder Dusche/WC, Kabel-TV, Minibar und Selbstwahltelefon
- Wir informieren und beraten Sie gern über Entdeckungs- und Erlebnistouren in Goslar und Umgebung



Der „Preuße“ am Institut für Erdöl- und Erdgastechnik – Prof. Dr.-Ing. Ghofrani

Am 20. September verabschiedete das Institut für Erdöl- und Erdgastechnik im Rahmen des „Spülung- und Zementkolloquium ITE“ Professor Dr.-Ing. Reza Ghofrani. Die Laudatio hielt Professor Dr.-Ing. (em.) Claus Marx, aus welcher hier in Ausschnitten zitiert sei:

„Reza Ghofrani hat während seines über 25-jährigen Wirkens am ITE bedeutende Leistungen vollbracht und wurde mitunter respektvoll als der „Preuße“ am Institut bezeichnet. Wegen seiner Geradlinigkeit und besonders korrekten Arbeitsweise. Er war nicht bereit aus Gefälligkeit, Nachsicht zu üben. Auch die anderen Tugenden, die man allgemein einem Preußen zuschreibt, waren ihm nicht nur eigen, sondern er lebte sie: Zuverlässigkeit, Loyalität, Fleiß, Gründlichkeit in seinen Arbeiten und bei der Durchsicht der Arbeiten anderer, insbesondere der Studenten. Ferner waren seine Haltung und Disziplin charakteristisch.

Reza Ghofrani hat schwere Schicksalsschläge hinnehmen müssen und so wurde sein beruflicher Werdegang im 5. Berufsjahr jäh unterbrochen. Er verlor die berufliche Position und die Heimat, da er sich nicht mit den veränderten Verhältnissen in seiner Heimat arrangieren konnte und wollte.

Reza Ghofrani ist in Teheran geboren. Dort ist er zur Schule gegangen und hat nach dem Abitur das Studium der Medizin begonnen. Das nachhaltige Erlebnis der Alltagswirklichkeit eines Arztes im Iran, wie es von einem nahen Verwandten praktiziert wurde, hat dann zu den Zweifeln geführt, ob er zu gleicher andauernder Opferbereitschaft befähigt sei: einsatzbereit zu sein, wo und wann auch immer er gerufen wird, tags oder nachts, und unabhängig vom Anlaß. Eine Festlegung auf Sprechstunden kam für ihn nicht in Frage. Er brach konsequent das Studium ab und ging zunächst zum Sprachstudium nach Deutschland.

1961 nahm er das Bergbaustudium an der Bergakademie Clausthal auf. Als ein Jahr später der Vater starb, änderte sich das Leben von Reza Ghofrani von Grund auf. Er verlor sein Elternhaus in Teheran, aber er gewann die Lebensgefährtin für die eigene Familie. Seine Frau Farah ergänzte seine ruhige und besonnene Lebensart durch Frohsinn, Optimismus und ständige Lebendigkeit. Das junge Ehepaar Ghofrani nahm für viele Jahre die Mutter und Schwester von Herrn Ghofrani zu sich nach Clausthal – Zellerfeld. Sie teilten das Studentenleben von Reza Ghofrani, und Farah wurde die vorbildliche Mutter der beiden Söhne, die noch vor Abschluß des Vorexamens geboren wurden.“

Nach dem Abschluß des Diploms wurde ihm aufgrund seiner hervorragenden Studienleistungen an dem Institut für Tiefbohrkunde und Erdölgewinnung eine Doktorarbeit angeboten. Reza Ghofrani sagte zu:



Bei der Verabschiedung im Rektorat: Dr. Peter Kickartz, Kanzler, Dr. mont. Günter Pusch, ITE, Prof. Dr.-Ing. Reza Ghofrani, ITE, Prof. Dr. Ernst Schaumann, Rektor, Prof. Dr.-Ing. (em.) Claus Marx, ITE

„Neben den vielen Arbeiten, zu denen man am Institut herangezogen wird, konzentrierte sich das Promotionsthema auf die Verbesserung der Ringraumzementation durch Abtrag des Filterkuchens im Trägerbereich durch die Waschflüssigkeiten und die Verpumpungstechnik. Eine große Zirkulationsanlage wurde in Edelstahl ausgeführt und hat ein Vermögen gekostet, das aber bei DFG – Projekten nicht bereitgestellt wurde. Es mußte wieder einmal gezaubert werden. Die Promotion schloß mit der mündlichen Prüfung am 18.04.1975 ab. Die Benotung lautete „Sehr gut“.

Reza Ghofrani hatte damit sein Meisterstück abgeliefert und verfolgte nun als Ziel die Hochschul-lehrerlaufbahn an der Technischen Universität Teheran (Teheraner Polytechnik). Noch im selben Jahr wurde er als ordentlicher Professor für Bergbau und Erdölwesen berufen.“

Zusätzlich wurde ihm die Leitung einer eigenständigen Hochschule in Teheran für Bauwesen und Architektur übertragen, deren Rektor er wurde. „Er sollte diese Hochschule neu strukturieren und eine straffe Führungshierarchie schaffen. Wieder waren seine preußischen Tugenden gefragt und zäher Arbeitseinsatz, oft wurden über 12 Stunden pro Tag verfahren. Nach 1 1/2 Jahren war es geschafft und der Rektor Ghofrani stellte den Antrag, wieder als Professor an seine Hochschule zurückkehren zu dürfen. Dieses wurde ihm gewährt.

Auch die Khomeni – Regierung fand es außerordentlich ungewöhnlich, daß ein Rektor zurücktritt,

um als Professor zu arbeiten und gewährte ihm gern ein Jahr leave of absence, damit er seine Fachkenntnisse, wie beantragt aktualisieren konnte. So kam er 1979 nach Clausthal an sein altes Institut.

Die Hoffnung, daß sich die politischen Verhältnisse in der Heimat bald wieder ändern bzw. normalisieren würden, erfüllte sich nicht, und er mußte sich völlig neu orientieren. Dieser Teil seines beruflichen Lebens, immerhin mehr als 20 Jahre, ist den Anwesenden weitgehend bekannt. Er hat das Gebiet Spülung und Zemente aktiv betrieben und neue Forschungsakzente gesetzt. Davon kündigen seine Arbeiten:

52 Vorträge
28 Aufsätze
11 Forschungsberichte und / oder Buchbeiträge
Insgesamt 18 Doktorarbeiten wurden von ihm betreut.“

Beide Söhne studierten Medizin und leisten auf ihren Gebieten Herausragendes. Das Ehepaar Ghofrani baute nach der Einbürgerung 1994 vor den Toren Goslars. „Reza Ghofrani hat sich im Umgang mit dem PC kundig gemacht und das Haus virtuell vorgeplant und gestaltet. Die Bauleitung erledigte Farah Ghofrani souverän. Das Haus Ghofrani ist bestellt und bietet dem pensionierten Professor eine ideale Wirkungsmöglichkeit. Auf diesem Wege wünsche ich der Familie Ghofrani ein herzliches Glückauf“, sagte Professor Marx. ■

Habilitationen

Breitner, Michael Hans, Dr. rer.nat.:

Nichtlineare, multivariate Approximation mit Perzeptions und anderen Funktionen auf verschiedenen Hochleistungsrechnern.

Fachgebiet: Mathematik

Ferkel, Hans, Dr. rer.nat.:

Perspektiven lasererzeugter Nanopulver in der Werkstoffentwicklung.

Fachgebiet: Werkstoffkunde

Promotionen

Mathematik und Informatik

Schnittner, Stefan, Dipl.-Math.:

Ein vorkonditioniertes Goerisch-Verfahren zur Einschließung von Eigenwerten selbstadjungierter Operatoren und Validierung von Näherungslösungen.

Physik, Metallurgie und Werkstoffwissenschaften

Blanke, Torsten, Dipl.-Phys.:

Differenzfrequenz-Lasersystem für die hochauflösende MIR-Absorptionsspektroskopie.

Willer, Ulrike, Dipl.-Phys.:

NIR- und MIR-Evaneszenzfeldlasersensoren – Grundlagen und Anwendungen.

Moseler, Doris, Dipl.-Ing.:

Rasterkraftmikroskopische Untersuchungen von Floatgläsern und des Bloom-Effekts.

Zhou, Shunxin, M. Sc.:

Mathematical Modeling of Hot Rolling Steel Strip with Special Consideration of a Tandem Mill Linked to a Single-Belt Caster.

Kim, Jung-Wook, Dipl.-Ing.:

Elektrophoretische Beschichtung von SiC-Fasern mit koprazipitativ gefällten PZT-Pulvern.

Kevorkov, Dmytro, Dipl.-Chem.:

Thermodynamics and Phase Equilibria of the Mg-Al-Li-Si System.

Ehrenberg, Andreas, Dipl.-Ing.:

Zur Optimierung der Korngrößenverteilung von hütensandhaltigen Zementen.

Radomski, Bettina, Dipl.-Min.:

Korrosion von Emails durch gas- und dampfförmige Komponenten und Kondensate.

Goß, Annette, Dipl.-Ing.:

Rasterkraftmikroskopische Untersuchungen von silicatischen Glasoberflächen an Luft und in Flüssigkeiten.

Geowissenschaften, Bergbau und Wirtschaftswissenschaften

Baitz, Stephan, Dipl.-Min.:

Nanokristalline Schutzschichten in Kupferrohren für Kaltwasserleitungssysteme.

Koppe, Michael, Dipl.-Ing.:

Entwicklung und Untersuchung von Systemkomponenten für die Gewinnung von Kernproben aus Tiefbohrungen unter Druckerhaltung.

Germer, Christine, Dipl.-Chem.:

Vergleichende Untersuchungen zur Sauerwasserprognose anhand verschiedener deutscher Erzproben.

Rühl, Verena Judith, Dipl.-Kffr.:

Möglichkeiten und Grenzen der vertraglichen Gestaltung von Innovationskooperationen bei Informationsasymmetrie.

Prahl, Utha, Dipl.-Chem.:

Isolierung erdölstämmiger Pour Point Depressants und Untersuchung ihrer Wirkungsweise in paraffinhaltigen Fluiden.

Numbi, Adrien Banza, Dipl.-Ing.:

Verfahren zur Nutzbarmachung der Kupferschlacke von Lubumbashi.

Fischer, Christian, Dipl.-Geogr.:

Eignung hyperspektraler Fernerkundungsdaten zur Erfassung von Umwelteinwirkungen des Steinkohlenbergbaus.

Markus, Enrico, Dipl.-Ing.:

Unternehmensübergreifende Koordination von Flächenrecyclingprojekten auf Basis einer integrierten Groupwarelösung.

Junker, Anja, Dipl.-Math.:

Upscaling als Schnittstelle zwischen geologischer Modellierung und Lagerstättensimulation.

Schmid, Martin, Dipl.-Ing.:

Grundlagenuntersuchungen zur Technik und Wirtschaftlichkeit von Bohrlochbau im Übergangsbereich vom Tagebau zum Tiefbau.

Xu, Lunwu, M. Eng.:

Experimentelle und theoretische Untersuchungen von Festigkeit und Verdichtungsverhalten großkörniger Versatzgemische unter besonderer Berücksichtigung der Korngrößenverteilung.

Rhodesly, Liane, Dipl.-Ing.:

Untersuchungen der rheologischen Eigenschaften Nicht-Newtonscher Flüssigkeiten unter pT-Bedingungen.

Maschinenbau, Verfahrenstechnik und Chemie

Klak, Marcus, Dipl.-Chem.:

Polymermodifizierungen mit Amin-funktionalisierten Additiven in der Schmelze und in Lösung.

Schönberger, Andreas, Dipl.-Chem.:

Synthesen desoxygener Glycokonjugate und deuterierter Desoxyzucker mit Hilfe Polymer-gebundener Reagenzien.

Dendougui, Ferial, M. Sc.:

pH-abhängige Elementspezies-Analytik am Beispiel von Calcium und Kupfer aus Lebensmitteln in simulierten Verdauungssäften.

Machado de Carvalho, Leandro, M. Sc.:

Entwicklung von Methoden zur Speziesanalytik von

Selen- und Schwefelverbindungen in Wässern und Industrieprodukten.

Regenhardt, Wilko, Dipl.-Chem.:

Synthesen von und mit Cyclobutenonethylenedithioacetalen.

Taube, Carsten, Dipl.-Chem.:

N-Oxyl-kontrollierte radikalische Suspensionspolymerisation in einem Öl/Wasser-System.

Thurow, Nicole, Lebensmittelchemikerin:

Ultrapurenanalytik und Speziesanalytik von Edelmetallen in Körperflüssigkeiten.

Wittke, Kristian, Lebensmittelchemiker:

Bestimmung von Markern nicht-persistenter Pflanzenschutzmittel und polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe in Körperflüssigkeiten umweltbelasteter Personen.

Rynka, Stephan, Dipl.-Chem.:

Diffusionskontrollierte Reaktionen zwischen Polymerkettenenden und Sondenmolekülen in hoch- und semi-verdünnter Polymerlösung.

Germer, Roland, Dipl.-Chem.:

Elektrolytischer Ladungstransport in smektischen und lamellaren Flüssigkristallphasen amphiphiler Moleküle.

Poppe, Holger, Dipl.-Ing.:

Indikatorengestützte Umweltbewertung zur Steuerung der Produktentwicklung in der Automobilindustrie.

Schubert, Andreas, Dipl.-Ing.:

Der Einsatz von intelligenten Methoden zur Diagnose von Maschinen- und Prozeßzuständen und ihre Integration in die Instandhaltungsstrategie chemischer Anlagen.

Rösner, Julian, Dipl.-Ing.:

Aktive Dämpfung von Wirkleistungsschwankungen bei Windkraftanlagen mit drehzahlstarrer Netzanbindung.

Reimer, Peter, Dipl.-Ing.:

Verwendung von elektronisch gesteuerten Respiratoren und Infusionspumpen unter hyperbaren Bedingungen.

Stöbich, Jochen, Dipl.-Ing. (FH):

Auftragsschweißen mit hartstoffhaltigen Sinterbändern.

Schröder, Christian, Dipl.-Ing.:

Beitrag zur Optimierung der Klärschlammmentwässerung mittels online-Flockenanalyse.

Adenstedt, Ralf, Dipl.-Ing.:

Streuung der Schwingfestigkeit.

Löning, Jan-Martin, Dipl.-Ing.:

Prozeßintensivierung durch Leistungultraschall – Verfahrensauslegung ultraschallgestützter Syntheseprozesse am Beispiel nichtkatalytischer Fest-Flüssigreaktionen.

Beisheim, Nicolai, Dipl.-Ing.:

Entwicklung eines wissenschaftlichen Informationssystems zur Durchführung präventiver Sicherheitsanalysen am Beispiel der Konstruktion verfahrenstechnischer Anlagen und Maschinen.